

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE PILAS FABRICADAS DE LADRILLOS DE ARCILLA INDUSTRIAL, ARTESANAL Y DE CONCRETO UTILIZANDO MORTERO CON Y SIN CAL”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniería Civil

Autor:

Cinthia Melissa Lazo Rios

Asesor:

Dr. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno

Cajamarca - Perú

2018



ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS

El asesor Miguel Ángel Mosqueira Moreno, docente de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera profesional de INGENIERÍA CIVIL, ha realizado el seguimiento del proceso de formulación y desarrollo de la tesis de la estudiante:

- Lazo Rios Cinthia Melissa

Por cuanto, **CONSIDERA** que la tesis titulada: Variación de la resistencia a compresión de pilas fabricadas de ladrillos de arcilla industrial, artesanal y de concreto utilizando mortero con y sin cal para aspirar al título profesional de: Ingeniería Civil por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, **AUTORIZA** al o a los interesados para su presentación.

Dr. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno
Asesor

ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS

Los miembros del jurado evaluador asignados han procedido a realizar la evaluación de la tesis de la estudiante: Cinthia Melissa Lazo Rios para aspirar al título profesional con la tesis denominada: Variación de la resistencia a compresión de pilas fabricadas de ladrillos de arcilla industrial, artesanal y de concreto utilizando mortero con y sin cal.

Luego de la revisión del trabajo, en forma y contenido, los miembros del jurado concuerdan:

Aprobación por unanimidad

Aprobación por mayoría

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Desaprobado

Firman en señal de conformidad:

Dr. Ing. Orlando Aguilar Aliaga
Jurado
Presidente

Ing. Gerson Quispe Rodríguez
Jurado
Secretario

Dr. Erlyn Giordany Salazar Huamán
Jurado
Vocal

DEDICATORIA

Principalmente dedico este trabajo a mis padres, quienes sacrificaron mucho para poder culminar con mi formación académica a lo largo de estos años.

A la Universidad Privada del Norte, por inculcarme las competencias necesarias para ser un profesional de calidad, con orientación de los mejores docentes a nivel académico.

A mi asesor el Dr. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno que a lo largo de mi formación profesional me apoyó a culminar con mi tesis.

Finalmente, a todas aquellas personas que me apoyaron y confiaron de alguna manera u otra, a lo largo de estos cinco años, culminar con este logro.

AGRADECIMIENTO

A dios, por el despertar de cada mañana, por la salud, por nuestra familia y amigos. Gracias Dios mío por lo bueno y lo malo que de todo eso se aprende para ser mejor cada día.

A mi asesor el Dr. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno, que me orientó con todos sus conocimientos a realizar este trabajo manera técnica y demostrándome la vocación que hay que tenerle hacia la carrera.

Al Dr. Ing. Orlando Aguilar Aliaga, por brindarme las facilidades y el apoyo en el proceso de la elaboración del proyecto.

A cada uno de los profesores que tuve a lo largo de la carrera profesional, por acogerme gratamente en cada curso, aportarme conocimientos y experiencias.

A todas las personas, desde mis compañeros de primer hasta el último ciclo, que me mostraron su apoyo, los tengo en mi corazón por cada momento compartido.

Tabla de contenidos

| | |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS | 2 |
| ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS | 3 |
| DEDICATORIA | 4 |
| AGRADECIMIENTO | 5 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 8 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 9 |
| ÍNDICE DE ECUACIONES | 11 |
| CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN..... | 13 |
| 1.1. Realidad problemática..... | 13 |
| 1.1.1. UNIDADES DE ALBAÑILERÍA | 19 |
| 1.1.1.1. Definición | 19 |
| 1.1.1.2. Características generales..... | 20 |
| 1.1.1.3. Clasificación para fines estructurales | 21 |
| 1.1.1.4. Ensayos, según la Norma Técnica E.070: | 22 |
| a. Muestreo: | 22 |
| b. Resistencia a la compresión: | 22 |
| c. Variación dimensional: | 22 |
| d. Alabeo: | 23 |
| e. Absorción: | 23 |
| f. Succión: | 23 |
| 1.1.2. CLASIFICACIÓN DE LADRILLOS, SEGÚN SU MÉTODO DE FABRICACIÓN | 25 |
| 1.1.2.1. Ladrillo de arcilla industrial | 25 |
| 1.1.2.2. Ladrillo artesanal | 26 |
| 1.1.2.3. Ladrillo de concreto..... | 27 |
| 1.1.3. CLASIFICACIÓN DE LADRILLOS, POR SU FORMA..... | 28 |
| 1.1.3.1. Ladrillo perforado..... | 28 |
| 1.1.3.2. Ladrillo macizo..... | 29 |
| 1.1.4. PROPIEDADES DE LA ALBAÑILERÍA SIMPLE..... | 29 |
| 1.1.4.1. Ensayo de compresión axial en pilas | 32 |
| 1.1.5. MORTERO | 37 |
| 1.1.5.1. Definición: | 37 |
| 1.1.5.2. Su dosificación | 39 |
| 1.1.6. CAL HIDRATADA | 40 |

| | | |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----|
| 1.2. | Formulación del problema | 42 |
| 1.3. | Objetivos | 42 |
| 1.3.1. | Objetivo general | 42 |
| 1.3.2. | Objetivos específicos | 42 |
| 1.4. | Hipótesis..... | 43 |
| 1.4.1. | Hipótesis general..... | 43 |
| CAPÍTULO II. METODOLOGÍA | | 43 |
| .1. | Tipo de investigación | 43 |
| .2. | Población y muestra | 43 |
| .3. | Materiales, instrumentos y métodos..... | 44 |
| .4. | Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos..... | 51 |
| .5. | Procedimiento..... | 52 |
| 5.1 | Inspección y obtención de unidades de albañilería..... | 52 |
| 5.2 | Inspección y obtención de arena gruesa..... | 54 |
| 5.3 | Análisis Granulométrico de la arena gruesa | 54 |
| 5.4 | Ensayos clasificatorios de unidades de albañilería | 57 |
| 5.4.1 | Variación dimensional | 57 |
| 5.4.2 | Alabeo | 58 |
| 5.4.3 | Resistencia a compresión | 60 |
| 5.5 | Ensayos no clasificatorios de unidades de albañilería | 64 |
| 5.5.1 | Absorción..... | 64 |
| 5.5.2 | Succión | 65 |
| 5.6 | Elaboración de pilas de unidades de albañilería | 67 |
| 5.6.1 | Resistencia a compresión de pilas de unidades de albañilería | 69 |
| 5.7 | Resistencia a compresión de mortero | 71 |
| CAPÍTULO III. RESULTADOS | | 73 |
| CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES | | 81 |
| REFERENCIAS | | 87 |
| ANEXOS..... | | 90 |
| 1.1. | Ensayos de agregado grueso | 101 |
| 1.2. | Ensayos de unidades de albañilería..... | 102 |
| 1.3. | Resistencia a compresión | 105 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 1. Clase de unidad de albañilería para fines estructurales | 21 |
| Tabla 2. Resistencias características de la albañilería | 31 |
| Tabla 3. Factores de corrección de F_m por esbeltez | 32 |
| Tabla 4. Tipos de mortero..... | 39 |
| Tabla 5. Total de muestra de pilas de ladrillos | 44 |
| Tabla 6. Total de cubos de mortero | 44 |
| Tabla 7. Normas de ensayos | 52 |
| Tabla 8. Granulometría de la arena gruesa. | 56 |
| Tabla 9. Clasificación de las unidades de albañilería. | 74 |
| Tabla 10. Clase de unidad de albañilería para fines estructurales | 74 |
| Tabla 11. Tabla resumen de resistencia a compresión de unidades de albañilería..... | 75 |
| Tabla 12. Tabla resumen de f_m de los cubos de mortero | 75 |
| Tabla 13. Tabla resumen de f_m de pilas de ladrillo de arcilla artesanal | 77 |
| Tabla 14. Tabla resumen de f_m de pilas de ladrillo de arcilla industrial | 77 |
| Tabla 15. Tabla resumen de f_m de pilas de ladrillo de concreto artesanal | 78 |
| Tabla 16. Variación de la resistencia de f_m de pilas aumentando cal al mortero | 80 |
| Tabla 17. Datos de la granulometría..... | 101 |
| Tabla 18. Variación dimensional..... | 102 |
| Tabla 19. Ensayo de alabeo | 102 |
| Tabla 20. Ensayo de absorción | 102 |
| Tabla 21. Ensayo de succión | 103 |
| Tabla 22. Resistencia a compresión de unidades de arcilla artesanal | 103 |
| Tabla 23. Resistencia a compresión de unidades de arcilla industrial..... | 104 |
| Tabla 24. Resistencia a compresión de unidades de concreto artesanal..... | 104 |
| Tabla 25. Resistencia a compresión de mortero 1:4: sin cal | 105 |
| Tabla 26. Resistencia a compresión de mortero de 1:4:1/2..... | 106 |
| Tabla 27. Resistencia a compresión de mortero 1:5: sin cal | 107 |
| Tabla 28. Resistencia a compresión de mortero 1:5:1/2..... | 108 |
| Tabla 29. f_m de pilas de arcilla industrial de 1:4: sin cal..... | 109 |
| Tabla 30. f_m de pilas de arcilla artesanal de 1:4: sin cal..... | 110 |
| Tabla 31. f_m de pilas de concreto artesanal de 1:4: sin cal..... | 111 |
| Tabla 32. f_m de pilas de arcilla industrial de 1:4: 1/2..... | 112 |
| Tabla 33. f_m de pilas de arcilla artesanal de 1:4: 1/2..... | 113 |
| Tabla 34. f_m de pilas de concreto artesanal de 1:4: 1/2 | 114 |
| Tabla 35. f_m de pilas de arcilla industrial de 1:5: 1/2 | 115 |
| Tabla 36. f_m de pilas de arcilla artesanal de 1:5: sin cal..... | 116 |
| Tabla 37. f_m de pilas de concreto artesanal de 1:5: sin cal | 117 |
| Tabla 38. f_m de pilas de arcilla industrial de 1:5: 1/2 | 118 |
| Tabla 39. f_m de pilas de arcilla artesanal de 1:5: 1/2..... | 119 |
| Tabla 40. f_m de pilas de concreto artesanal de 1:5: 1/2 | 120 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Unidades de albañilería..... | 20 |
| Figura 2. Estado ideal de un ladrillo al asentarlos | 24 |
| Figura 3. Ladrillo de arcilla industrial..... | 25 |
| Figura 4. Ladrillo artesanal..... | 27 |
| Figura 5. Ladrillo de concreto | 28 |
| Figura 6. Ensayo a compresión axial de pilas | 33 |
| Figura 7. Pilas de unidades de albañilería | 34 |
| Figura 8. Comportamiento de prismas | 36 |
| Figura 9. Cubos de mortero | 38 |
| Figura 10. Cal | 40 |
| Figura 11. Horno | 45 |
| Figura 12. Cuña para medir el alabeo | 46 |
| Figura 13. Unidades de albañilería | 47 |
| Figura 14. Máquina a compresión | 48 |
| Figura 15. Cubos de mortero | 50 |
| Figura 16. Molde de mortero | 50 |
| Figura 17. Ubicación de ladrillos de concreto artesanal..... | 52 |
| Figura 18. Ubicación de ladrillos de arcilla artesanal | 53 |
| Figura 19. Ubicación de ladrillos de arcilla industrial..... | 53 |
| Figura 20. Ubicación de la arena gruesa..... | 54 |
| Figura 21. Secado al ambiente..... | 54 |
| Figura 22. Análisis granulométrico | 56 |
| Figura 23. Ensayo de variación dimensional..... | 57 |
| Figura 24. Variación dimensional | 57 |
| Figura 25. Ensayo de alabeo..... | 60 |
| Figura 26. Refrentado con yeso | 62 |
| Figura 27. Medidas de unidades de albañilería | 62 |
| Figura 28. Sumergido de unidades de albañilería..... | 64 |
| Figura 29. Peso del espécimen saturado | 65 |
| Figura 30. Secado al horno de unidades de albañilería | 66 |
| Figura 31. Secado superficial con paño..... | 67 |
| Figura 32. Ensayo de succión | 67 |
| Figura 33. Curado por 28 días a pilas de ladrillos | 68 |
| Figura 34. Refrentado de pilas de unidades de albañilería | 69 |
| Figura 35. Medida de pilas | 69 |
| Figura 36. Carga máxima | 70 |
| Figura 37. Curva Granulometría..... | 73 |
| Figura 38. La resistencia fm de cubos de mortero de 1:5 añadiendo cal..... | 76 |
| Figura 39. La resistencia fm de cubos de mortero de 1:4 añadiendo cal..... | 76 |
| Figura 40. Resistencia f'm de pilas de ladrillo de arcilla artesanal de 1:5 y 1:5:1/2..... | 78 |
| Figura 41. Resistencia f'm de pilas de ladrillo de arcilla artesanal de 1:4 y 1:4:1/2..... | 79 |
| Figura 42. Resistencia f'm de pilas de ladrillo de arcilla industrial de 1:5 y 1:5:1/2..... | 79 |
| Figura 43. Resistencia f'm de pilas de ladrillo de arcilla industrial de 1:4 y 1:4:1/2..... | 79 |
| Figura 44. Resistencia f'm de pilas de ladrillo de concreto artesanal de 1:5 y 1:5:1/2..... | 80 |
| Figura 45. Resistencia F'm de pilas de ladrillo de concreto artesanal de 1:4 y 1:4:1/2..... | 80 |
| Figura 46. Cuarteo del agregado grueso | 91 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 47. Resultados de ensayo de absorción | 91 |
| Figura 48. Ensayo de succión | 91 |
| Figura 49. Verificación de trabajo con el asesor | 92 |
| Figura 50. Elaboración de refrentado a unidades de albañilería..... | 92 |
| Figura 51. Ensayo de granulometría..... | 92 |
| Figura 52. Resistencia a compresión de unidades de albañilería | 93 |
| Figura 53. Fallas de unidades de albañilería..... | 93 |
| Figura 54. Toma de datos de ensayo de resistencia a compresión | 93 |
| Figura 55. Preparación de materiales para elaboración de pilas..... | 94 |
| Figura 56. Elaboración de mezcla de mortero | 94 |
| Figura 57. Elaboración de las pilas de unidades de concreto | 94 |
| Figura 58. Elaboración de las pilas de unidades de arcilla industrial..... | 95 |
| Figura 59. Elaboración de las pilas de unidades de arcilla artesanal..... | 95 |
| Figura 60. Colocación de mezcla de mortero con cal en el molde..... | 95 |
| Figura 61. Colocación de mezcla de mortero sin cal en el molde | 96 |
| Figura 62. Cubos de morteros sacados del molde | 96 |
| Figura 63. Pilas de unidades de ladrillos | 96 |
| Figura 64. Fallas de pilas de unidades de arcilla | 97 |
| Figura 65. Fallas de pilas de unidades de concreto | 97 |
| Figura 66. Pilas de unidades de ladrillos | 97 |
| Figura 67. Fallas de pilas de unidades de arcilla | 98 |
| Figura 68. Carga última de pilas de unidades de albañilería | 98 |
| Figura 69. Pilas de unidades de ladrillos | 98 |
| Figura 70. Fallas de pilas de unidades de concreto | 99 |
| Figura 71. Fallas de pilas de arcilla industrial | 99 |
| Figura 72. Ensayo de resistencia a compresión de Pilas de unidades de ladrillos | 99 |
| Figura 73. Fallas de pilas de arcilla industrial | 100 |
| Figura 74. Fallas presentadas en cubos de mortero sin cal..... | 100 |
| Figura 75. Fallas de todos los cubos de mortero | 100 |
| Figura 76. Curva granulométrica de agregado grueso..... | 101 |
| Figura 77. Esfuerzo vs Deformación unitaria (Unidades de arcilla artesanal)..... | 103 |
| Figura 78. Esfuerzo vs Deformación unitaria (Unidades de arcilla industrial)..... | 104 |
| Figura 79. Esfuerzo vs Deformación unitaria (Unidades de concreto artesanal) | 105 |
| Figura 80. Esfuerzo vs Deformación unitaria (Mortero 1:4: sin cal) | 106 |
| Figura 81. Esfuerzo vs Deformación unitaria (Mortero 1:4:1/2)..... | 107 |
| Figura 82. Esfuerzo vs Deformación unitaria (Mortero 1:5: sin cal) | 108 |
| Figura 83. Esfuerzo vs Deformación unitaria (Mortero 1:5:1/2)..... | 109 |
| Figura 84. Esfuerzo vs Deformación unitaria (Arcilla industrial de 1:4:sin cal) | 110 |
| Figura 85. Esfuerzo vs Deformación unitaria (arcilla artesanal 1:4: sin cal) | 111 |
| Figura 86. Esfuerzo vs Deformación unitaria (concreto artesanal de 1:4: sin cal)..... | 112 |
| Figura 87. Esfuerzo vs Deformación unitaria (arcilla industrial de 1:4:½)..... | 113 |
| Figura 88. Esfuerzo vs Deformación unitaria (arcilla artesanal de 1:4: ½)..... | 114 |
| Figura 89. Esfuerzo vs Deformación unitaria (concreto artesanal de 1:4: ½)..... | 115 |
| Figura 90. Esfuerzo vs Deformación unitaria (arcilla industrial de 1:5: 1/2)..... | 116 |
| Figura 91. Esfuerzo vs Deformación unitaria (arcilla artesanal de 1:5: sin cal) | 117 |
| Figura 92. Esfuerzo vs Deformación unitaria (concreto artesanal de 1:5: sin cal)..... | 118 |
| Figura 93. Esfuerzo vs Deformación unitaria (arcilla industrial de 1:5: 1/2)..... | 119 |
| Figura 94. Esfuerzo vs Deformación unitaria (arcilla artesanal de 1:5: ½)..... | 120 |
| Figura 95. Esfuerzo vs Deformación unitaria (concreto artesanal de 1:5: ½)..... | 121 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|-------------------------------------------------|----|
| Ecuación 1. Variación dimensional | 57 |
| Ecuación 2. Coeficiente de variación | 58 |
| Ecuación 3. Desviación estándar | 58 |
| Ecuación 3. Resistencia a compresión..... | 63 |
| Ecuación 5. Absorción..... | 64 |
| Ecuación 6. Succión | 67 |
| Ecuación 7. Resistencia a compresión axial..... | 70 |
| Ecuación 8. Resistencia característica | 71 |
| Ecuación 9. Resistencia a compresión..... | 72 |

RESUMEN

En el presente trabajo de tesis, se determina la resistencia a compresión de pilas fabricados de ladrillos de arcilla industrial, artesanal y de concreto utilizando mortero con y sin cal. Se trabaja con mortero de 1:4, 1:4:1/2, 1:5 y 1:5:1/2, como referencia de la Norma Técnica E.070 (Albañilería) para uso en muros portantes. Para ello inicialmente, se clasifica a los 3 diferentes tipos de ladrillo de acuerdo a la Norma Técnica E.070, en base a los ensayos de variación dimensional, alabeo, compresión simple y ensayos no clasificatorios: succión y absorción. Asimismo se ha realizado por mezcla, cubos de mortero de 50 mm para determinar su resistencia a compresión (fm). Posteriormente se ha construido seis pilas por cada espécimen y mezcla indica anteriormente, realizando un total de 72 pilas, se asienta las unidades de albañilería una sobre otra con mortero de espesor 1.5 cm hasta formar 3 hiladas, pasando por un curado de 28 días, para después someterlas a ensayos de compresión axial. Las pilas presentan diferentes alturas debido a la variación dimensional que sufre el ladrillo; por ello se corrige en base a factores que se da de la relación altura – espesor (Esbeltez). Los resultados de las unidades de albañilería, clasifican al ladrillo de arcilla industrial en un tipo IV, arcilla artesanal en un tipo I y de concreto artesanal en un tipo II. La resistencia a compresión de los cubos de mortero de 1:5 es de 116.456 Kg/cm², añadiendo ½ cal aumenta en un 5.00% siendo de 122.586 Kg/cm² y con mezcla de 1:4 es de 133.619 Kg/cm², añadiendo ½ cal aumenta en un 5.10% siendo de 140.793 Kg/cm². Se concluye que al añadir cal dentro del mortero aumenta su resistencia a compresión de pilas. En ladrillos de arcilla artesanal con una mezcla de 1:5 aumentan un 2.91% y de 1:4 en 14.05%, en ladrillos de arcilla industrial con una mezcla de 1:5 aumentan un 1.84% y de 1:4 en 6.91%; y en ladrillos de concreto artesanal con una mezcla de 1:5 aumentan un 2.47% y de 1:4 en 6.21%.

Palabras clave: resistencia a compresión, ladrillos, mortero, cal y pilas de ladrillo.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La albañilería existió desde tiempos prehistóricos y que su forma inicial podría haber sido los muros hechos con piedras naturales trabadas o adheridas con barro. Desde aquel entonces la evolución de la albañilería no ha dejado de parar, el ladrillo desde que era una masa amorfa de barro secada al sol, para luego ser llevado al horno unos 3000 años a.C. en la ciudad de Ur, formándose lo que actualmente se denomina el ladrillo de arcilla o cerámico. Y el mortero inventado por Vitruvio (Arquitecto Romano, 25 a.C.), en cual mezcló con cal y agua a la "arena volcánica" del Vesubio (actualmente denominada "puzolana") (BARTOLOMÉ, 1994).

El sistema estructural que más se utiliza en el Perú y Sudamérica para la construcción de viviendas en zonas urbanas es la denominada albañilería. Más del 43% de las viviendas son construidas con este sistema estructural (Comité asesor Japonés, 2004).

Se evidencia que la albañilería ha carecido de criterios de diseño de construcción civil. Las construcciones de edificaciones con muro excesivamente grueso en base a recetas empíricas más que razonables, llegando a elevar innecesariamente los costos. La falta de conceptos puntuales, la ausencia de armadura y el uso incorrecto de configuraciones ha llevado a construir edificaciones inestables y con graves desastres estructurales. El mayor propósito de la ingeniería es el balance de la

economía y seguridad, que ha estado ausente del diseño y la construcción de albañilería (Gallegos & Casabonne, 2005).

Según la NTP 0.70, se denomina ladrillo a aquella unidad cuya dimensión y peso permite que sea manipulada con una sola mano. La arcilla ha sido el material básico para la fabricación de ladrillos desde los primeros tiempos. Se pueden definir como un material que forma una masa coherente y pegajosa cuando se mezcla con el agua. Los principales constituyentes de la arcilla en cantidades promedio son el silicio (60%) y el aluminio (20%) además de las cuales tienen proporciones menores de óxido de hierro, cal, etc. El silicio (la arena) le da dureza, resistencia al calor, durabilidad e impide la contracción, el agrietamiento y la deformación; pero un exceso de este constituye hace que el ladrillo sea frágil y poroso (Bailey, 2010).

La unión de las piezas para que formen una estructura integral se hace mediante el uso del mortero, con él se debe lograr dar propiedades de resistencia al muro, produciendo la adherencia entre los bloques, a fin de que trabajen en forma monolítica (De Solminihac & Thenoux, 2005).

La cal ha sido uno de los conglomerantes que el hombre ha utilizado desde la más remota antigüedad, se obtiene a partir de rocas carbonatadas, fundamentalmente calizas y dolomías, muy extendidas en la corteza terrestre (representan un 20 %). Los albañiles de la antigua Roma cuando hablaban del mortero hacían referencia a la gaveta o cazo en el que amasaban y transportaban la cal y la arena. Poco a poco la palabra fue designando no ya su recipiente, sino su contenido: Una masa

compuesta en su inicio de cal, arena y agua, que empleaban para unir entre sí piedras o ladrillos, alisar superficies y proteger paramentos (Acosta, Herrero, Rosell, & Sanz).

La función del mortero es proporcionar una cama uniforme y adaptable para las unidades de albañilería logrando absorber las irregularidades del ladrillo y así unir las unidades creando un muro monolítico y uniforme. Su propiedad fundamental es la adhesividad para lo cual el mortero tiene que ser trabajable, retentivo y fluido. El agua da la trabajabilidad, la cal da la retentividad, la fluidez, la cohesión y la trabajabilidad, mientras que el cemento da la resistencia inicial a la tracción adherencia (Quispe, 2006).

Las pilas fallan principalmente por tracción ortogonal a la compresión aplicada (grieta vertical); esto se debe a que el mortero trata de expandirse lateralmente en mayor proporción que la unidad y puesto que debe existir compatibilidad de deformación entre ambos elementos, el mortero trabajará a compresión y la unidad a tracción lateral. Otro tipo de falla en las pilas es por aplastamiento (de la unidad o del mortero), producida cuando se emplean materiales de baja resistencia. Los muros y muretes fallan por fuerza cortante en forma escalonada a través de las juntas, o cortando las unidades (tracción diagonal); cuando este se desarrolla una buena adherencia entre el mortero y la unidad (Bartolomé, 1994).

La Norma Técnica E.070 nos especifica las proporciones del mortero de acuerdo a sus usos como se ve en la tabla N 4. Tipos de mortero, pero en base a esta

investigación nos permitirá conseguir las proporciones de mortero que obtenga la resistencia a compresión más favorable y así poder aplicarlo en sistemas estructurales de Cajamarca.

El implementar cal como elemento ayuda a la disminución de las pérdidas por endurecimiento de la mezcla, posee una capacidad de deformarse plásticamente, lo que les permite absorber la contracción generada por la retracción hidráulica del cemento, reduciendo de esta manera las microfisuras que dan origen a las filtraciones de agua.

En la Norma Técnica E.070, nos indica en la tabla de resistencias características de la albañilería, solo nos muestra los valores que se obtienen de un mortero de 1:4 (cuando la unidad es de arcilla), buscando así ampliar información acerca del uso de la cal en el mortero de 1:4 y 1:5.

Se busca determinar la resistencia a compresión de las pilas de diferentes tipos de ladrillos de Cajamarca con la aplicación de cal en el mortero, aportando información para el diseño de sistemas estructurales de albañilería.

Según la Tesis de “Mejora de la adherencia mortero - ladrillo de concreto” de Álvaro Morante, donde aplica 3 técnicas recomendadas por el fabricante para mejorar la adherencia entre los ladrillos y el mortero donde somete 4 pilas y 4 muretes, obteniendo como resultado que ninguna de las 3 técnicas sobresale de manera clara en valores de resistencia a compresión axial, donde concluye que la

técnica de construcción más adecuada es la técnica C, le sigue la técnica A y, finalmente la técnica B. La técnica C se usó mortero con cal (1:4:1/2) a diferencia de las otras dos.

El estudio de la adherencia mortero - Ladrillo de concreto vibrado en tres técnicas de construcción realizado por Ángel San Bartolomé y Álvaro Morante donde el principal objetivo es analizar la adherencia en la interface mortero – ladrillo de concreto vibrado mediante dos técnicas de construcción adicionales se utilizó la prueba de compresión diagonal en muretes de albañilería. Sin embargo, como las técnicas utilizadas podrían afectar a la resistencia a compresión, también se ensayaron a compresión axial pilas de albañilería. Se obtuvo como resultados que el mortero con cal de la técnica C (1: ½: 4), tuvo una ligera mayor resistencia a compresión (5%) y menor dispersión de resultados que el mortero sin cal (1: 4), usado en las técnicas A y B, notándose que la cal proporcionó mayor trabajabilidad y retentividad a la mezcla. La resistencia a corte puro promedio fue prácticamente independiente de la técnica de construcción utilizada; sin embargo, en la técnica C (mortero con cal) se logró la menor dispersión de resultados, lo cual hizo que la resistencia característica ($v'm$) para la técnica C sea 9% mayor que la correspondiente a la técnica A.

El estudio realizado por Ángel San Bartolomé y Mirlene Castro sobre “Efecto de cinco variables sobre la resistencia de la albañilería” donde halla la resistencia a compresión axial ($f'm$) y diagonal ($v'm$) de la albañilería construida con unidades de arcilla en base a cinco parámetros: cemento, cal, arena, espesor de las juntas y el

tratamiento del ladrillo antes de su asentado, sobre la resistencia a compresión axial ($f'm$) y diagonal ($v'm$) de la albañilería construida con unidades de arcilla. Mostró que la que obtuvo mayor resistencia compresión axial fue la del patrón debido al uso de ladrillo tipo 5 y mortero 1:4 que es el ideal en la construcción de la albañilería y el de mortero con cal se reduce en un 14%.

En la tesis de “Reforzamiento de vivienda existentes construidas con muros confinados hechos con ladrillos pandereta - segunda etapa , por Tania Araoz y Jhonatan Velezmoro, donde analizaron una medida preventiva para evitar el colapso sísmico de viviendas construidas con ladrillos pandereta en sus muros portantes, a través del reforzamiento con malla electrosoldada y tarrajeo con mortero. Uno de sus resultados fue la resistencia a compresión axial de la albañilería ($F'm = 24 \text{ kg/cm}^2$) resultó muy baja y las pilas tuvieron un comportamiento sumamente frágil, razones por las cuales es muy peligroso el uso del ladrillo pandereta en la construcción de muros portantes. Esto podría deberse a la poca área axial neta que tuvo la unidad tubular. Mientras que la resistencia a corte puro ($V'm = 9.28 \text{ kg/cm}^2$) resultó elevada y comparable con los mejores ladrillos de arcilla indicados en la Norma Técnica E.070. Esto podría deberse a que el mortero de las juntas verticales penetró al interior de los huecos formando llaves de corte que incrementaron la resistencia a fuerza cortante.

Según Peter Thormann, La contribución a la determinación y la influencia de la adherencia entre ladrillos silicio-calcáreo y morteros que para determinar la adherencia se aplicó un método con el que es posible medir la rotura sin momento

flector en muestras hechas de ladrillo aparejados en cruz en un total de 9 muestras de ladrillos industriales y fabricados. La mejor adherencia se obtenía para una proporción de cal – cemento - arena de 1:2:8. Se concluyó que determinando la superficie específica según BET, se consiguen adherencias de alrededor de 1 kp/cm² de ladrillos con superficies comprendidas entre 5 y 10 m²/g.

La adherencia en los morteros de albañilería realizada por el investigador de materiales de construcción el Ing. Jorge Luis A. Cabrera donde realiza un estudio para determinar la resistencia a la adherencia que alcanzan los morteros de albañilería a los 28 días. Para ello se prepararon dosificaciones de morteros con 4 tipos de cementos, 2 tipos de arenas y 4 tipos de agregados, lográndose realizar 23 dosificaciones. En los resultados, se comprueba que hay mayor resistencia a la adherencia llegando hasta valores de 0,7 MPa. Cuando se trabajó con la arena artificial lavada como árido y con el hidrato de cal como agregado en general, y los menores con cemento CA-160.

1.1.1. UNIDADES DE ALBAÑILERÍA

1.1.1.1. Definición

Según la Norma Técnica E.070, se denomina ladrillo a aquella unidad cuya dimensión y peso permite que sea manipulada con una sola mano. Se denomina bloque a aquella unidad que por su dimensión y peso requiere de las dos manos para su manipuleo.



Figura 1. Unidades de albañilería.

Fuente: ARQHYS, 2012.

La resistencia a la compresión de la unidad es, por sí sola, su principal propiedad y la que finalmente determina la resistencia a la compresión del muro de albañilería (f'_m). En general, unos valores altos de resistencia a la compresión señalan una buena calidad para todos los fines estructurales y de exposición (Gallegos & Casabonne, 2005).

1.1.1.2. Características generales

Según la Norma Técnica E.070, estas unidades pueden ser sólidas, huecas, alveolares o tubulares y podrán ser fabricadas de manera artesanal o industrial. Las unidades de albañilería de concreto serán utilizadas después de lograr su resistencia especificada y su estabilidad volumétrica. Para el caso de unidades curadas con agua, el plazo mínimo para ser utilizadas será de 28 días almacenadas a una temperatura no menor de 10 °C.

El Instituto del cemento y del hormigón de Chile en 2010, define que el comportamiento de una albañilería terminada está directamente ligado a tres factores principales:

- Propiedades físico-mecánicas del ladrillo: resistencia a la compresión, porcentaje de absorción, resistencia térmica y reducción acústica.
- Propiedades físico-mecánicas del mortero: resistencia a la compresión, adherencia y resistencia térmica.
- Calidad de mano de obra: Si los materiales utilizados cumplen las especificaciones, una correcta ejecución de la albañilería, vale decir, muros aplomados, hiladas niveladas y canterías correctamente rellenas y rematadas asegurarán siempre un muro de altos estándares de calidad (instituto del cemento y del hormigon de chile, 2010).

1.1.1.3. Clasificación para fines estructurales

La Norma Técnica E.070 indica que para efectos del diseño estructural, las unidades de albañilería tendrán las características indicadas en la siguiente tabla.

Tabla 1

Clase de unidad de albañilería para fines estructurales

| CLASE | VARIACIÓN DE LA ALABEO | | | RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESION | |
|--------------------|--------------------------|----------------|----------------|---------------------------------------------------------------------|---------|
| | DIMENSIÓN en porcentaje) | (máxima en mm) | (Máximo en mm) | | |
| | Hasta | Hasta | Más | F ^b mínimo en MPa (Kg/cm ²) sobre área bruta | |
| Ladrillo I | ±8 | ±6 | Más de 150 mm | 4,9(50) | |
| Ladrillo II | ±7 | ±6 | ±4 | 8 | 6,9(70) |

| | | | | | |
|---------------------|----|----|----|---|-----------|
| Ladrillo III | ±5 | ±4 | ±3 | 6 | 9,3(95) |
| Ladrillo IV | ±4 | ±3 | ±2 | 4 | 12,7(130) |
| Ladrillo V | ±3 | ±2 | ±1 | 2 | 17,6(180) |
| Bloque P | ±4 | ±3 | ±2 | 4 | 4,9(50) |
| Bloque NP | ±7 | ±6 | ±4 | 8 | 2,0(20) |

Fuente: Vivienda, 2006.

1.1.1.4. Ensayos, según la Norma Técnica E.070:

a. Muestreo:

El muestreo será efectuado a pie de obra. Por cada lote compuesto por hasta 50 millares de unidades se seleccionará al azar una muestra de 10 unidades, sobre las que se efectuarán las pruebas de variación de dimensiones y de alabeo. Cinco de estas unidades se ensayarán a compresión y las otras cinco a absorción.

b. Resistencia a la compresión:

Para la determinación de la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería, se efectuará los ensayos de laboratorio correspondientes, de acuerdo a lo indicado en las normas NTP 399.613 y 339.604. La resistencia característica a compresión axial de la unidad de albañilería (f'_b) se obtendrá restando una desviación estándar al valor promedio de la muestra.

c. Variación dimensional:

Para la determinación de la variación dimensional de las unidades de albañilería, se seguirá el procedimiento indicado en las normas NTP 399.613 y 399.604. La prueba de variación de dimensional es necesario efectuarla para determinar el espesor de las juntas de la albañilería. Debe hacerse notar que por cada incremento de 3 mm en el espesor de las juntas horizontales (adicionales al mínimo requerido de 10 mm), la resistencia a compresión de la albañilería disminuye en un 15%; asimismo, disminuye la resistencia al corte (Bartolomé, 1994).

d. Alabeo:

Para la determinación del alabeo de las unidades de albañilería, se seguirá el procedimiento indicada en la Norma NTP 399.613. El alabeo es la distorsión que sufre el ladrillo tomando una forma de curvada hacia arriba o hacia abajo encorvando sus bordes. Esta distorsión puede levantar los bordes respecto a la base.

e. Absorción:

Los ensayos de absorción se hicieron de acuerdo a lo indicado en las normas NTP 399.604 y 399.161. En el ensayo de absorción se miden la absorción de la unidad sumergida en agua fría durante 24 horas. Para efectuar el ensayo las unidades se someten al tratamiento antes dicho, y luego se vuelven a pesar (Gallegos & Casabonne, 2005).

f. Succión:

De acuerdo a lo indicado en las normas NTP 399.604 y 399.161, la succión debe destacarse por la mejor adherencia ladrillo – mortero, se logra cuando el núcleo del ladrillo está saturado y su superficie se encuentra relativamente seca. Esto permite: un curado natural del mortero evitando su agrietamiento al retardarse el fraguado (o endurecimiento) con el agua existente en el núcleo del ladrillo; y, una adecuada succión del cementante del mortero. Debe indicarse que todas las unidades de arcilla (artesanales o industriales) son ávidas de agua, por lo que se recomienda reducir la succión natural regándolas por lo menos durante 25 minutos un día antes de usarlas, de modo que la succión al asentarlas esté comprendida entre 10 a 20 gr/200 cm²-min (Bartolomé, 1994).

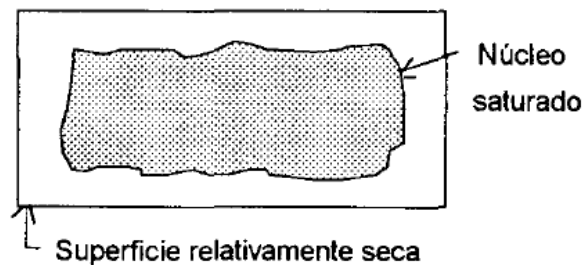


Figura 2. Estado ideal de un ladrillo al asentarlo

Fuente: Bartolomé, 1994.

Conviene indicar que la Norma Técnica E.070 especifica que las unidades de arcilla industrial deben sumergirse un instante previo al asentado, y que las artesanales deben sumergirse durante una hora antes del asentado; de seguirse estas especificaciones se obtiene una unidad que continúa siendo ávida de agua, o una unidad a la cual se le ha

sobresaturado ("emborrachado") y no podrá ser capaz de absorber el cementante del mortero (Bartolomé, 1994).

1.1.2. CLASIFICACIÓN DE LADRILLOS, SEGÚN SU MÉTODO DE FABRICACIÓN

1.1.2.1. Ladrillo de arcilla industrial

Según la Norma Técnica E.070, es el ladrillo fabricado con maquinaria que amasa, moldea y prensa la pasta de arcilla. El ladrillo producido industrialmente se caracteriza por su uniformidad. Empleo de hornos más sofisticados para la fase de cocción. En estos hornos se lleva un control de temperatura, logrando una mayor eficiencia en la producción de unidades de arcilla con una mejor calidad final.



Figura 3. Ladrillo de arcilla industrial.

Los materiales utilizados en la fabricación de ladrillos son por lo general arcillas amarillas o rojas de composición heterogénea o relativamente impura (casi siempre secundarias). Las arcillas usadas en la mezcla deben ser plásticas al mezclarse con agua, de modo tal que puedan ser formadas en moldes o por el dado de las máquinas extrusoras que moldean y dan la forma definitiva a las unidades de arcilla. Sus partículas deben tener

suficiente adhesión para mantener la estabilidad de la unidad después del moldeo y ser capaces de unirse fundiéndose cuando se calientan a temperaturas elevadas.

De acuerdo a estas características, son las arcillas superficiales las que satisfacen estas condiciones para ser adecuadas para la fabricación de ladrillos. Este tipo de arcillas son las más fáciles de explotar porque corresponden a una formación sedimentaria reciente y, por lo tanto son las más empleadas. Sin embargo, al estar más expuestas a la contaminación con sales por razones naturales y por el empleo agrícola del suelo, ellas producen las unidades más vulnerables a la eflorescencia (Gallegos & Casabonne, 2005).

Según la tabla N 1 - Clase de unidad de albañilería para fines estructurales se observa que los ladrillos industriales serán de tipo IV y V, con resistencia a la compresión mínima de 130 y 180 Kg/cm² respectivamente.

1.1.2.2. Ladrillo artesanal

Según la Norma Técnica E.070, es el ladrillo fabricado con procedimientos predominantemente manuales. El amasado o moldeo es hecho a mano. El ladrillo producido artesanalmente se caracteriza por variaciones de unidad a unidad.

Son unidades fabricados utilizando solo recursos humanos; estas unidades generalmente tienen dimensiones no muy uniformes. Se deberán sumergirse

en agua por lo menos una hora antes del asentado. En términos generales no debe usarse ladrillos artesanales en edificaciones de más de un piso (Quispe, 2006).

Según la Tabla N 1 - Clase de unidad de albañilería para fines estructurales se observa que los ladrillos artesanales pueden ser de tipo I al III, con resistencia a la compresión mínima de 50, 70 y 95 Kg /cm².



Figura 4. Ladrillo artesanal

1.1.2.3. Ladrillo de concreto

Se aplica en muros portantes de albañilería confinada, muros de albañilería arriostrada como tabiques, cercos y parapetos.

Las ventajas que presenta es la uniformidad dimensional y menor o nulo alabeo. Absorción dentro de los límites normativos, no requiere saturación previa para controlar alta succión. Menor porcentaje de mermas y desperdicios por manipuleo, debido a la dureza del material. Alta resistencia al fuego y buen aislamiento acústico (UNICON).

Fabricado con mezcla de cemento Portland, arena, piedra pequeña, agua. La arena confitillo (piedra chancada de ¼”). Podría tener granos volcánicos u otro material inerte inorgánico adecuado. Los bloques de concreto deben asentarse secos, si se mojan no succionarán al mortero impidiendo la adhesión (Quispe, 2006).

Se clasifica en tipo I (Portante), y el tipo II (Tabiquería), con resistencia mínima promedio del bloque: 50 kg/cm² y 20 kg/cm² respectivamente.



Figura 5. Ladrillo de concreto

1.1.3. CLASIFICACIÓN DE LADRILLOS, POR SU FORMA

1.1.3.1. Ladrillo perforado

Es el ladrillo con perforaciones en la tabla de volumen superior al 10%. Su forma se obtiene por extrusionado de la arcilla a través de una boquilla.

El ladrillo perforado es el que tiene un uso más generalizado a la hora de realizar una fábrica cara vista. Se emplea habitualmente en aparejos con llagas convencionales, en torno a 1 cm o 1.5 cm, quedando asegurada la resistencia y la estanqueidad, al penetrar el mortero en las perforaciones y

conseguir una adherencia perfecta entre ambos materiales (HISPALYT, 1998).

1.1.3.2. Ladrillo macizo

Es el ladrillo sin perforaciones o con perforaciones en la tabla de volumen no superior al 10%. Se obtiene mediante extrusionado de la arcilla a través de una boquilla o por prensado sobre un molde.

Los ladrillos prensados incorporan en una o ambas tablas unos rebajes llamados cazoletas. La utilidad de este rebaje es la de poder albergar en la tabla un espesor de mortero suficiente que garantice la perfecta adherencia entre las piezas, evitando problemas de estanqueidad y resistencia, sobre todo al emplear llagas de espesores inferiores a 0,5 cm. Cuando se deseen utilizar llagas verticales de poco espesor, existen en el mercado ladrillos para tal fin (HISPALYT, 1998).

1.1.4. PROPIEDADES DE LA ALBAÑILERÍA SIMPLE

Los ensayos de compresión axial de pilas y de compresión diagonal de muretes se realizarán mediante ensayos de laboratorio de acuerdo a lo indicado en las NTP 399.605 y 399.621.

Según la Norma Técnica E.070, la resistencia de la albañilería a compresión axial (f') y a corte (v') se determinará de manera empírica (recurriendo a tablas o registros históricos de resistencia de las unidades) o mediante ensayos

de prismas, de acuerdo a la importancia de la edificación y a la zona sísmica donde se encuentre.

Cuando se construyan conjuntos de edificios, la resistencia de la albañilería deberá comprobarse mediante ensayos de laboratorio previos a la obra y durante la obra. Los ensayos previos a la obra se harán sobre cinco especímenes.

Los prismas serán elaborados en obra, utilizando el mismo contenido de humedad de las unidades de albañilería, la misma consistencia del mortero, el mismo espesor de juntas y la misma calidad de la mano de obra que se empleará en la construcción definitiva.

Cuando se trate de albañilería con unidades alveolares que irán llenas con concreto líquido, los alvéolos de las unidades de los prismas y muretes se llenarán con concreto líquido. También los prismas tendrán un refrentado de cemento - yeso con un espesor que permita corregir la irregularidad superficial de la albañilería.

La resistencia característica en pilas y muretes se obtendrá como el valor promedio de la muestra ensayada menos una vez la desviación estándar. El valor de V'_m para diseño no será mayor de $0.319\sqrt{f_m} \text{ Mpa}$ ($\sqrt{f_m} \text{ Kg/cm}^2$).

En el caso de no realizarse ensayos de prismas, podrá emplearse los valores mostrados en la siguiente Tabla N 2, correspondientes a pilas y muretes contruidos con mortero 1:4 (cuando la unidad es de arcilla) y 1: ½: 4 (cuando la materia prima es sílice-cal o concreto), para otras unidades u otro tipo de mortero se tendrá que realizar los ensayos respectivos.

Tabla 2

Resistencias características de la albañilería

| Materia | Denominación | UNIDAD | PILAS | MURETES |
|-------------------------------|----------------------|---------------|--------------|----------------|
| Prima | | <i>f'b</i> | <i>f'm</i> | <i>V'm</i> |
| Arcilla | King Kong artesanal | 5,4(55) | 3,4(35) | 0,5(5,1) |
| | King Kong industrial | 14,2(145) | 6,4(65) | 0,8(8,1) |
| | Rejilla industrial | 21,1(215) | 8,3(85) | 0,9(9,2) |
| Sílice-Cal | King Kong Normal | 15,7(160) | 10,8(110) | 1,0(9,7) |
| | Dédalo | 14,2(145) | 9,3(95) | 1,0(9,7) |
| Concreto Bloque Tipo P | Estándar y mecano | 14,2(145) | 10,8(110) | 0,9(9,2) |
| | | 4,9(50) | 7,3(74) | 0,8(8,6) |
| | | 6,4(65) | 8,3(85) | 0,9(9,2) |

| | | | |
|--|---------|-----------|-----------|
| | 7,4(75) | 9,3(95) | 1,0(9,7) |
| | 8,3(85) | 11,8(120) | 1,1(10,9) |

Fuente: Vivienda, 2006.

El valor de $F'm$ ha sido obtenido contemplando los coeficientes de corrección por esbeltez del prisma que aparece en la siguiente tabla:

Tabla 3

Factores de corrección de $F'm$ por esbeltez

| Esbeltez | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 4.0 | 4.5 | 5.0 |
|-----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Factor | 0.73 | 0.80 | 0.91 | 0.95 | 0.98 | 1.00 |

Fuente: Vivienda, 2006.

1.1.4.1. Ensayo de compresión axial en pilas

Según normas técnicas complementarias, su comportamiento óptimo cuando está sujeta a esfuerzos de compresión dependen de la interacción de piezas y mortero; esta puede interpretarse en la siguiente forma: las piezas y el mortero tienen características esfuerzo - deformación diferentes; por lo tanto, al ser sometida a un mismo esfuerzo, se produce una interacción entre ambos, que consiste en que el material menos deformable, las piezas en general, restringe las deformaciones transversales del material más deformable (el mortero), introduciéndole esfuerzos de compresión de dirección transversal. El ensayo que se utiliza para determinar la resistencia a la compresión de la mampostería, se hace sobre muretes es decir, sobre una pila de piezas superpuestas unidas por mortero con una relación altura/espesor aproximadamente igual a 4. Se utilizan estas condiciones en

partículas, debido a la relativa facilidad de construcción y ensayo del murete, con el cual, se reproducen razonablemente los modos de fallo observados en los muros a escala natural.

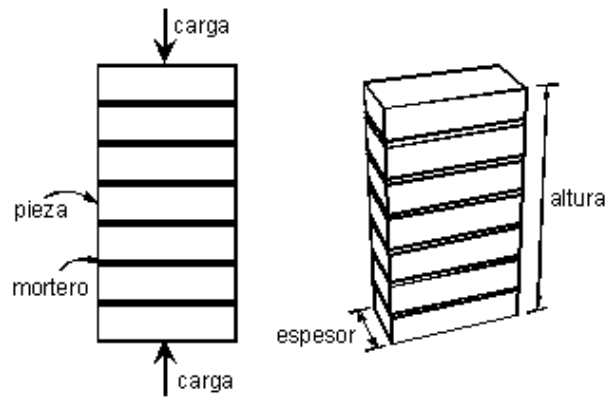


Figura 6. Ensayo a compresión axial de pilas

Fuente: Normas técnicas complementarias, s.f.

El tipo de fallo más común en este tipo de ensayo, es la formación de grietas verticales en las piezas, producidas por las deformaciones transversales. Generalmente, el daño se concentra en las unidades del centro, ya que es allí, donde el efecto del confinamiento inducido por las celdas de carga, es menos significativo. No obstante, otro tipos de fallo pueden presentarse, como consecuencia de las posibles combinaciones que se generan al variar la calidad y las propiedades de las unidades y el mortero, como es el caso del fallo por aplastamiento en unidades de baja resistencia. Por lo tanto, la resistencia a la compresión de la mampostería depende tanto de las propiedades mecánicas de los materiales constitutivos como de la forma como estos se combinan para formar la mampostería (Chinchilla Paiz, 2010).

En la albañilería con unidades asentadas con mortero, todas las juntas horizontales y verticales quedarán completamente llenas de mortero. El espesor de las juntas de mortero será como mínimo 10 mm y el espesor máximo será 15 mm o dos veces la tolerancia dimensional en la altura de la unidad de albañilería más 4 mm, lo que sea mayor. En las juntas que contengan refuerzo horizontal, el espesor mínimo de la junta será 6 mm más el diámetro de la barra (Bartolomé, 2005).

El espécimen para determinar la resistencia a la compresión de la albañilería está estandarizado, y consiste en un prisma de unidades asentadas una sobre otra (Figura 7) . Los prismas se llenan con concreto líquido (unidades huecas), asentadas o apiladas (unidades sólidas). La esbeltez y la altura mínima de los prismas dependen si la albañilería es de ladrillos o de bloques (Gallegos & Casabonne, 2005).

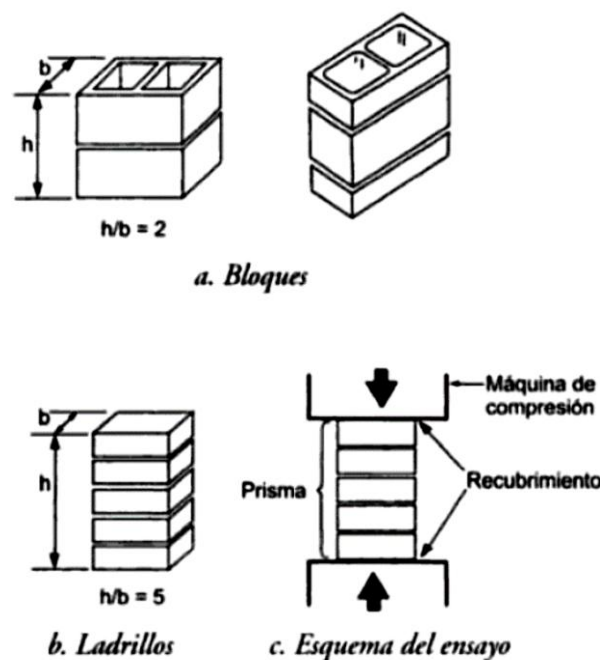


Figura 7. Pilas de unidades de albañilería

Fuente: Gallegos & Casabonne, 2005.

La Norma Técnica E.070 de albañilería, señala que la resistencia de la albañilería a compresión axial ($f'm$) se determinará de manera empírica (recurriendo a tablas o registros históricos de resistencia de las unidades) o mediante ensayos de prismas, de acuerdo a la importancia de la edificación y a la zona sísmica donde se encuentre.

Los prismas serán elaborados en obra, utilizando el mismo contenido de humedad de las unidades de albañilería, la misma consistencia del mortero, el mismo espesor de juntas y la misma calidad de la mano de obra que se empleará en la construcción definitiva (Vivienda, 2006).

San Bartolomé, A. 1994. Describe que las pilas fallan principalmente por tracción ortogonal a la compresión aplicada (grieta vertical); esto se debe a que el mortero trata de expandirse lateralmente en mayor proporción que la unidad y puesto que debe existir compatibilidad de deformación entre ambos elementos, el mortero trabajará a compresión y la unidad a tracción lateral. Otro tipo de falla en las pilas es por aplastamiento (de la unidad o del mortero), producida cuando se emplean materiales de baja resistencia (Gallegos & Casabonne, 2005).

Gallegos, H. y Casabonne, C. 2005. Concluyen que la expansión lateral libre del mortero, asumiendo módulos de Poisson de valor similar para ladrillo y el mortero, será mucho mayor para este último. Debido a que en él prima, y

en un muro real de albañilería, el ladrillo y el mortero deben deformarse lo mismo lateralmente, a causa, sobre todo, de la fricción entre ambos materiales, la expansión lateral del mortero estará restringida por el ladrillo por el efecto de la adherencia. Por lo tanto, el mortero en el prisma cargado, está sometido a compresión triaxial, y el ladrillo a una combinación de compresión axial y tracción biaxial.

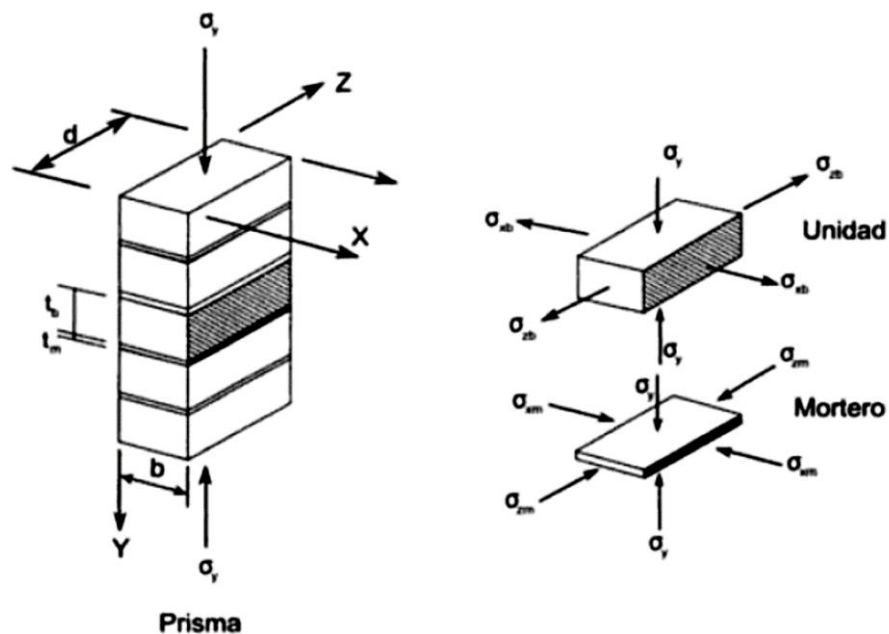


Figura 8. Comportamiento de prismas

Fuente: Gallegos & Casabonne, 2005.

En los muros reales, los ladrillos no están asentados uno encima del otro, sino con algún tipo de amarre. Las alturas y las esbelteces son bastante

mayores que las de los prismas. Sin embargo, si no ocurren fallas previas, por inestabilidad elástica o por excentricidad de la carga, la forma de la falla del muro es semejante a la del prisma. Esto significa que en los muros ocurren agrietamientos de tracción transversal (Gallegos & Casabonne, 2005).

El ladrillo y el mortero en la albañilería, deben tener un comportamiento monolítico, es decir ante la presencia de cargas provenientes del exterior, el mortero y el ladrillo deben actuar como una sola unidad, independientemente presentan las siguientes características mecánicas en la resistencia de los muros (Gallegos & Casabonne, 2005).

1.1.5. MORTERO

1.1.5.1. Definición:

Según la Norma Técnica E.070, el mortero estará constituido por una mezcla de aglomerantes y agregado fino a los cuales se añadirá la máxima cantidad de agua que proporcione una mezcla trabajable, adhesiva y sin segregación del agregado. Para la elaboración del mortero, se tendrá en cuenta lo indicado en las normas NTP 399.607 y 399.610.



Figura 9. Cubos de mortero

El mortero en la mayor parte de sus aplicaciones debe actuar como elemento de unión resistente compartiendo las sollicitaciones del sistema constructivo del que forma parte. El mortero utilizado en juntas debe soportar inicialmente las sucesivas hiladas de ladrillos o bloques. Luego, la resistencia del mortero influirá, por ejemplo, en la capacidad de una fábrica para soportar y transmitir las cargas a las que se ve sometida. Así mismo, el mortero para solados resistirá el peso de personas y enseres que se asienten sobre él (Gallegos & Casabonne, 2005).

La función del mortero es proporcionar una cama uniforme y adaptable para las unidades de albañilería, logrando absorber las irregularidades del ladrillo y así unir las unidades creando un muro monolítico y uniforme (Quispe, 2006).

Según el instituto del cemento y del hormigón de Chile en 2010, el mortero es utilizado para pegar unidades de albañilería entre sí. En ocasiones, es recomendable utilizar aditivos para mejorar propiedades de consistencia,

retención de agua, tiempo de fraguado, etc. Puede ser fabricado en obra o predosificado. Sus características:

- **Trabajabilidad:** Debe ser tal que se extienda con facilidad y cubra las superficies de las unidades de albañilería.
- **Retención de agua:** Debe poseer una buena retentividad para evitar que el mortero pierda agua en forma excesiva, la cual puede no ser absorbida por las unidades de albañilería, produciéndose una separación entre ladrillo y mortero. Un mortero con buen comportamiento debe tener una retentividad mayor al 70%, que corresponde a grado 1.
- **Resistencia:** La resistencia a la compresión de un mortero debe cumplir con la especificación del proyecto o normativa vigente.
- **Volumen estable:** Debe ser volumétricamente estable; de lo contrario, el exceso de retracción causa que el mortero se separe de la unidad de albañilería (Instituto del cemento y del hormigón de Chile, 2010).

1.1.5.2.Su dosificación

Los componentes del mortero tendrán las proporciones volumétricas (en estado suelto) indicadas en la siguiente tabla:

Tabla 4

Tipos de mortero

| COMPONENTES | | | | USOS |
|-------------|---------|---------|-----------|-----------------|
| TIPO | CEMENTO | CAL | ARENA | |
| P1 | 1 | 0 a 1/4 | 3 a 3 1/2 | Muros portantes |

| | | | | |
|-----------|---|---------|---------|--------------------|
| P2 | 1 | 0 a 1/2 | 4 a 5 | Muros portantes |
| NP | 1 | - | Hasta 6 | Muros no portantes |

Fuente: Vivienda, 2006

- Se podrán emplear otras composiciones de morteros, morteros con cementos de albañilería, o morteros industriales (embolsado o premezclado), siempre y cuando los ensayos de pilas y muretes proporcionen resistencias iguales o mayores a las especificadas en los planos y se asegure la durabilidad de la albañilería.
- De no contar con cal hidratada normalizada, especificada en el Artículo 6 (6.2^a), se podrá utilizar mortero sin cal respetando las proporciones cemento-arena indicadas en la Tabla N 4.

1.1.6. CAL HIDRATADA

Es un término que designa todas las formas físicas en las que puede aparecer el óxido de calcio (CaO). Se obtiene como resultado de la calcinación de las rocas calizas o dolomías. En el mortero se usa como material aglomerante.



Figura 10. Cal

Fuente: ANCADE, s.f.

Cuando añadimos agua (H_2O) al óxido de cal que tenemos en forma de piedra calcinada (cal viva), obtenemos el hidróxido de cal $Ca(OH)_2$, llamado cal apagada o cal hidratada, además de un aumento de volumen y desprendimiento de calor. Con el añadido de árido y agua, si procede, obtenemos el mortero que, durante su proceso de secado desprende el agua por evaporación al tiempo que capta el CO_2 de la atmósfera, que será el que reaccione con el hidróxido de cal formando de nuevo el carbonato cálcico y generando más agua, que se pierde por evaporación.

La cal aérea necesita desprenderse del agua de amasado y capturar dióxido de carbono del aire, lo que no puede hacer si se encuentra sumergida. Si trabajamos a partir del carbonato cálcico CO_3Ca , y le añadimos arcillas, que contienen mayormente y en proporciones variables sílice y alúmina y en menor cantidad otros elementos como óxidos de hierro, y elevamos la temperatura de cocción alrededor de los $1200^\circ C$ conseguimos la producción de la cal hidráulica (Rosell). De acuerdo al Grupo Calidra, sus características son:

- El peso específico de la cal es menor, por lo que comparativamente obtenemos mayor volumen de mezcla con el mismo peso.
- Tiempo de vida de la mezcla permite aprovechar el total de la preparación sin generar desperdicio.
- Incrementa la permeabilidad al vapor.
- Disminución de eflorescencias.
- La cal hace más flexible la mezcla, propiedad importante en zonas sísmicas, esta depende directamente de la adherencia.

- Con cal, aumenta a través del tiempo, a diferencia del cemento de albañilería el cual llega a su resistencia a los 28 días y por intemperismo puede decrecer.
- La mezcla de cal, no presenta contracción al endurecer, como el de cemento de albañilería, por ello se minimiza la presencia de fisuras o agrietamientos.

1.2. Formulación del problema

¿En cuánto varía la resistencia a compresión de pilas de ladrillos fabricados de arcilla industrial, artesanal y de concreto utilizando mortero con y sin cal?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la variación de la resistencia a compresión de pilas de ladrillos fabricadas de arcilla industrial, artesanal y de concreto utilizando mortero con y sin cal.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la resistencia a compresión de cubos de mortero con mezclas: (C: A) 1:4 sin cal, C: A: Cal 1:4:1/2, C: A 1:5 sin cal y C: A: Cal 1:5:1/2.
- Clasificar el ladrillo de arcilla industrial, artesanal y de concreto, según la Norma Técnica E.070.
- Determinar la resistencia a compresión de pilas de ladrillos fabricadas de arcilla industrial, artesanal y de concreto con una mezcla de mortero de (C:A) 1:4 sin cal.

- Determinar la resistencia a compresión de pilas de ladrillos fabricadas de arcilla industrial, artesanal y de concreto con una mezcla de mortero de (C:A:Cal) 1:4:1/2.
- Determinar la resistencia a compresión de pilas de ladrillos fabricadas de arcilla industrial, artesanal y de concreto con una mezcla de mortero de (C:A) 1:5 sin cal.
- Determinar la resistencia a compresión de pilas de ladrillos fabricadas de arcilla industrial, artesanal y de concreto con una mezcla de mortero de (C:A:Cal) 1:5:1/2.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

La resistencia a compresión de pilas fabricadas de ladrillo de arcilla artesanal, industrial y de concreto aumenta en un rango de 5% al 15% al incorporar cal en el mortero.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

.1. Tipo de investigación

Experimental

.2. Población y muestra

72 Pilas de ladrillos de arcilla industrial, artesanal y de concreto.

24 cubos de mortero, con las cuatro mezclas usadas para las pilas.

La muestra para la recolección que se tuvo en cuenta fue el de muestreo no probabilístico, basándose en las normas y consideraciones del autor.

Tabla 5

Total de muestra de pilas de ladrillos

| Pilas/Mezclas | Ladrillo de arcilla industrial | Ladrillo de arcilla artesanal | Ladrillo de concreto artesanal |
|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 1:4 sin cal | 6 | 6 | 6 |
| 1:4:1/2 | 6 | 6 | 6 |
| 1:5 sin cal | 6 | 6 | 6 |
| 1:5:1/2 | 6 | 6 | 6 |
| Total | 24 | 24 | 24 |

Tabla 6.

Total de cubos de mortero

| Muestra/Mezclas | Cubos de Mortero |
|--------------------|------------------|
| 1:4 sin cal | 6 |
| 1:4:1/2 | 6 |
| 1:5 sin cal | 6 |
| 1:5:1/2 | 6 |
| Total | 24 |

.3. Materiales, instrumentos y métodos

.3.1. Análisis granulométrico de la arena gruesa (MTC E 204 / ASTM C136 / NTP

400.012)

.3.1.1. Materiales

- Agregado grueso, 1 kg. de la masa de la muestra del agregado grueso seco.

.3.1.2. Instrumentos

- Balanza, fue legible a 0,1 gr. y con exactitud de 0.1 gr. o 0.1% de la masa de ensayo, cualquiera que sea mayor, en cualquier punto dentro del rango de uso.
- Tamices, el paño de cedazo o malla estuvo montado en un marco sólido construido de manera que se impida la pérdida de material durante el tamizado. Para el ensayo se necesitó el juego de tamices N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y cazoleta.
- Horno, con un tamaño apropiado capaz de mantener una temperatura uniforme de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($230\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 9\text{ }^{\circ}\text{F}$).



Figura 11. Horno

- Taras, donde se usó para pesar la muestra que se retiene por cada tamiz.

.3.2. Variación dimensional (NTP 331.017, NTP 331.018 y NTP 331.109 y NTP 399.604)

.3.2.1. Materiales

- Unidades de albañilería, se ensayaron 10 unidades secas de ladrillo de arcilla industrial, artesanal y de concreto.

.3.2.2. Instrumentos

- Regla de acero graduado, con divisiones de un milímetro, o un calibrador que tenga una escala de 25 mm a 300mm, y que tenga cabezales paralelos.

.3.3. Alabeo (NTP 331.017, NTP 331.018 y NTP 331.109 y NTP 399.604)

.3.3.1. Materiales

- Unidades de albañilería, se ensayaron 10 unidades de ladrillo de arcilla industrial, artesanal y de concreto.

.3.3.2. Instrumentos

- Una varilla de acero, con borde recto.
- Brocha, para limpiar de impurezas a las unidades.
- Una cuña de medición, dimensiones de 80 mm de longitud por 16 mm de ancho por 16 mm de espesor en un extremo, el que fue reduciéndose hasta llega a cero en el otro extremo, graduada y numerada en divisiones de 1 mm.

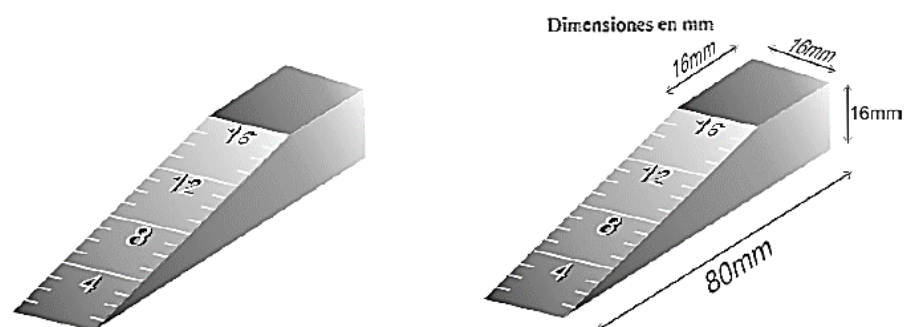


Figura 12. Cuña para medir el alabeo

Fuente: (INDECOPI, 2005)

- Regla metálica, con tamaño más largo que el de la longitud de la unidad.
- Superficie plana de acero o vidrio, no menor de 300 mm x 300 mm y plana en el rango de 0.025, donde se colocó la unidad de albañilería.

.3.4. Resistencia a compresión (NTP 331.017, NTP 331.018 y NTP 331.109 y NTP 399.604)

.3.4.1. Materiales

- Las unidades a ensayar fueron unidades secas.



Figura 13. Unidades de albañilería

.3.4.2. Instrumentos

- Placa de vidrio, con margen de 0.08 mm en 400 mm.
- Yeso, material usado para el refrentado.
- Badilejo, se usó en el mezclado de materiales.
- Máquina de compresión, equipo que permitió la realización del ensayo convencional de compresión y que también calculó el módulo de rigidez, de dimensiones limitadas.



Figura 14. Máquina a compresión

.3.5. Absorción (NTP 331.017, NTP 331.018 y NTP 331.109 y NTP 399.604)

.3.5.1. Materiales

- Unidades de albañilería, se ensayaron 5 unidades de ladrillo de arcilla industrial, artesanal y de concreto.

.3.5.2. Instrumentos

- Balanza, con una capacidad no menor de 2000 gr y una aproximación de 0.5 gr.
- Balde, o espacio donde se puedan sumergir en agua las unidades de albañilería.
- Paño absorbente, donde se limpió superficialmente las unidades.

.3.6. Succión (NTP 331.017, NTP 331.018 y NTP 331.109 y NTP 399.604)

.3.6.1. Materiales

- Unidades de albañilería, se ensayaron 5 unidades de ladrillo de arcilla industrial, artesanal y de concreto.

.3.6.2. Instrumentos

- Uso de bandejas y recipientes para agua, con una profundidad no menor de 25 mm, y de largo y ancho tales que la superficie de agua no fuera menor de 2000 cm².
- Dos barras de acero no corrosible, de 120 mm a 150 mm de longitud, de sección transversal triangular, semicircular o rectangular, de espesor aproximado de 6 mm. El espesor de las dos barras estuvieron comprendidas en 0.03 mm y si las barras tienen sección transversal rectangular su ancho no excederá a 2 mm.
- Cronometro, con una aproximación a 1s.
- Horno, con libre circulación de aire que permitió mantener una temperatura comprendida entre 110 °C y 115 °C.

.3.7. Resistencia a compresión de pilas de unidades de albañilería (NTP 399.605 y 399.621)

.3.7.1. Materiales

- Pilas de ladrillo de arcillo industrial, artesanal y de concreto.

.3.7.2. Instrumentos

- Máquina de compresión, equipo que permitió la realización del ensayo convencional de compresión y que también calculó el módulo de rigidez, de dimensiones limitadas.
- Regla graduada, con la suficiente longitud para medir las pilas de unidades de albañilería.

.3.8. Resistencia a compresión de mortero (MTC E609-ASTM C109-NTP 334.051)

.3.8.1. Materiales

- Cubos de mortero de mezcla de mortero de 1:4:1/2, 1:4: sin cal, 1:5:1/2 y 1:5: sin cal.



Figura 15. Cubos de mortero

.3.8.2. Instrumentos

- Máquina de compresión, equipo que permitió la realización del ensayo convencional de compresión y que también calculó el módulo de rigidez, de dimensiones limitadas.
- Regla graduada, con aproximación en milímetros.
- Aceite, sustancia que se aplicó en el molde antes de la colocación de la mezcla.
- Molde de cubos de mortero



Figura 16. Molde de mortero

.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Uso de fichas de observación (Protocolos), donde se tomaron las observaciones y resultados obtenidos en el laboratorio al momento que se realizó los ensayos.

Las fichas de resultados fueron de los 3 tipos de unidades de albañilería: en esta ficha se tomaran los datos y se colocó los resultados de los ensayos: Resistencia a la compresión, variación dimensional, alabeo y absorción. Siendo verificadas por el encargado de laboratorio.

La ficha de resultados del análisis granulométrico, se verificó si cumplía con los requerimientos de la Norma Técnica E.070 (Tabla N 8).

Ficha de resultados de compresión de pilas de ladrillo, contaron con los datos de la máquina de compresión hallando así el esfuerzo y la deformación de las unidades de albañilería a los 28 días de curado. Al igual que la resistencia a compresión de los cubos de mortero, donde se hallaron los esfuerzos y deformaciones de las unidades a los 28 días del curado, y la carga máxima que estos aguantan.

La fuente documental o bibliográfica, nos permitió revisar la documentación de carácter teórico y en base a las normas legales como referencia en la elaboración de la tesis. Se tuvo en cuenta la siguiente tabla:

Tabla 7

Normas de ensayos

| Ensayo | Norma |
|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Variación dimensional | NTP 331.017, NTP 331.018 y NTP 331.109 y NTP 399.604 |
| Alabeo | NTP 331.017, NTP 331.018 y NTP 331.109 y NTP 399.604 |
| Absorción | NTP 331.017, NTP 331.018 y NTP 331.109 y NTP 399.604 |
| Succión | NTP 331.017, NTP 331.018 y NTP 331.109 y NTP 399.604 |
| Análisis granulométrico de agregado grueso | NTP E070 , ASTM C136 y NTP 400.012 |
| Resistencia a compresión de unidades de albañilería | NTP 331.017, NTP 331.018 y NTP 331.109 y NTP 399.604 |
| Resistencia a compresión de pilas de albañilería | NTP 399.605 y 399.621 |
| Resistencia a compresión de morteros | MTC E609,ASTM C109 y NTP 334.051 |

.5. Procedimiento

.5.1 Inspección y obtención de unidades de albañilería

Se realizó la identificación de lugares donde se accedió a las unidades de ladrillos de arcilla artesanal, industrial y de concreto artesanal.

- Los ladrillos de concreto artesanal se obtuvieron en la Ferretería “Orión”, ubicada en Av. San Martín de Porres #2222.



Figura 17. Ubicación de ladrillos de concreto artesanal

Fuente: (Google Maps, 2018)

- Los ladrillos de arcilla artesanal se obtuvieron de un proveedor de la cantera “El Cerrillo”, camino al aeropuerto.



Figura 18. Ubicación de ladrillos de arcilla artesanal

Fuente: (Google Maps, 2018)

- Los ladrillos de arcilla industrial se obtuvieron de la cadena comercial “SODIMAC”, ubicada en Av. Vía de Evitamiento Nte (Centro comercial Open Plaza).



Figura 19. Ubicación de ladrillos de arcilla industrial

Fuente: (Google Maps, 2018)

.5.2 Inspección y obtención de arena gruesa.

Se realizó la obtención de la arena gruesa en la cantera “El gavilán”, ubicada a la salida de la costa.



Figura 20. Ubicación de la arena gruesa

Fuente: (Google Maps, 2018)

.5.3 Análisis Granulométrico de la arena gruesa (MTC E 204 / ASTM C136 / NTP 400.012)

- Se secó la muestra a peso constante a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. (se secó al ambiente).



Figura 21. Secado al ambiente

- Se seleccionaron los tamaños adecuados de tamices, según la NTP E.070: N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y cazoleta. Los tamices se encajaron en orden de abertura decreciente desde la tapa hasta el fondo y se colocó la muestra sobre el tamiz superior. Luego se procedió a agitar los tamices manualmente.

- Se limitó la cantidad de material sobre el tamiz utilizado de tal manera que todas las partículas tuvieron la oportunidad de alcanzar la abertura del tamiz un número de veces durante la operación de tamizado.

- Se continuó el tamizado por un período suficiente, de tal manera que al final no más del 1% de la masa del residuo sobre uno de los tamices, pasó a través de él durante 1 min de tamizado manual.

- Se determinó la masa de cada incremento de medida sobre una balanza conforme a los requerimientos aproximando al 0.1% más cercano de la masa total original de la muestra seca. La masa total de material luego del tamizado fue verificada con la masa de la muestra colocada sobre cada tamiz. Si la cantidad difiere en más de 0.3%, sobre la masa seca original de la muestra, el resultado no deberá utilizarse para propósitos de aceptación.

- Luego se procedió al pesado de la cantidad que retuvo en cada tamiz, para verificar que la curva se encuentre entre los husos granulométricos indicados en la siguiente tabla:

Tabla 8

Granulometría de la arena gruesa

| MALLA ASTM | % | QUE PASA |
|------------------|------------|----------|
| N°4 (4,75 mm) | 100 | |
| N°8 (2,36 mm) | 95 a 100 | |
| N°16 (1,18 mm) | 70 a 100 | |
| N°30 (0,60 mm) | 40 a 75 | |
| N°50 (0,30 mm) | 10 a 35 | |
| N°100 (0,15 mm) | 2 a 15 | |
| N°200 (0,075 mm) | Menos de 2 | |

Fuente: Vivienda, 2006.

- El modula de finura se calculó sumando el porcentaje acumulado retenido de material de cada uno de los siguientes tamices (porcentaje acumulado retenido): N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100, diviéndolo entre 100. El módulo de finura se encontró comprendido entre 1,6 y 2.5, como se indica en la norma.



Figura 22. Análisis granulométrico

.5.4 Ensayos clasificatorios de unidades de albañilería

.5.4.1 Variación dimensional (NTP 331.017, NTP 331.018 y NTP 331.109 y NTP 399.604)

- Se midieron las unidades individualmente con una regla de acero graduada.
- Se midieron 10 unidades enteras y secas.



Figura 23. Ensayo de variación dimensional

- La variación dimensional, se midió la dimensión de cada arista del espécimen (D=L, b, h) se tomó el promedio de las 4 medidas (en mm) en la parte media de cada cara.

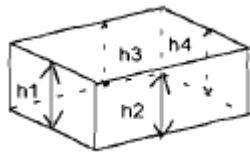


Figura 24. Variación dimensional

Fuente: (BARTOLOMÉ, 1994)

Ecuación 1. Variación dimensional

$$h = (h1 + h2 + h3 + h4)/4 \dots\dots\dots (1)$$

- Según el proyecto de Norma Técnica E.070 (SENCICO 2004), la variación dimensional expresada en porcentaje de cada arista de la unidad de albañilería se tomó como el cociente entre la desviación estándar y el valor promedio de la muestra, multiplicado por 100 (coeficiente de variación), como se muestra a continuación:

Ecuación 2. Coeficiente de variación

$$V(\%) = \frac{\sigma}{x} 100 \dots\dots\dots (2)$$

Ecuación 3. Desviación estándar

$$\delta = \sqrt{\sum \frac{(Di-Dp)^2}{(N-1)}} = \text{Desviación estándar} \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

σ = desviación estándar.

x = dimensión promedio.

.5.4.2 Alabeo (NTP 331.017, NTP 331.018 y NTP 331.109 y NTP 399.604)

- Los 10 especímenes se ensayaron tal cual se los recibe, únicamente se eliminó con una brocha el polvo adherido en las superficies.
- **Superficies cóncavas:** cuando la distorsión a ser medida correspondió a una superficie cóncava, se colocó la carilla de borde recto longitudinal o también se colocó diagonalmente a lo largo de la superficie a ser medida, adoptándose la ubicación que dio la mayor desviación de la línea recta. Se escogió la distancia mayor de la superficie del espécimen a la varilla de borde recto. Usando la regla

de acero o cuña se midió esta distancia con una aproximación de 1 mm y luego se registró como la distorsión cóncava de la superficie.

- **Bordes cóncavos:** Cuando la distorsión a ser medida era la de un borde y cóncava, se colocó la varilla de borde recto entre los extremos del borde cóncavo a ser medido. Se seleccionó la distancia más grande desde el borde el espécimen a la varilla como borde recto. Usando la regla de acero o cuña, se midió esta distancia con una aproximación de 1mm, y se registró como la distorsión cóncava del borde.
- **Superficies convexas:** cuando la distorsión a ser medida era la de una superficie convexa, se colocó al espécimen con la superficie convexa en contacto con una superficie plana y con las esquinas aproximadamente equidistantes de la superficie plana. Usando la regla de acero o cuña, se midió la distancia con una aproximación de 1 mm de cada una de las 4 esquinas desde la superficie plana. Se registró el promedio de las 4 medidas como la distorsión convexa del espécimen.
- **Bordes convexos:** Cuando la distorsión a ser medida era la de un borde convexo, se colocó la varilla de bordes rectos entre los extremos del borde convexo. Donde se seleccionó la distancia más grande del borde del espécimen a la varilla. Usando la cuña, se midió esta distancia con una aproximación de 1mm y se registró la distorsión convexa del borde.



Figura 25. Ensayo de alabeo

.5.4.3 Resistencia a compresión (NTP 331.017, NTP 331.018 y NTP 331.109 y NTP 399.604)

- las unidades a ensayar fueron unidades secas de ancho y altura equivalentes a las de la unidad original, y longitud igual a medida unidad ± 25 mm. Si la capacidad de resistencia del espécimen excedía la capacidad de la máquina, se podría ensayar piezas menores, con altura y espesor de la unidad original y longitud no menor de $\frac{1}{4}$ de la longitud total de la unidad, y con un área de sección horizontal bruta no menor de 90 cm^2 . El espécimen de prueba se pudo obtener por cualquier método de corte que produzca un espécimen con extremos aproximadamente planos y paralelos, sin astillas ni rajaduras. Se ensayó como mínimo cinco especímenes.
- Para el refrentado del espécimen estuvieron secados y enfriados, antes de procederlo. Si las superficies de contacto del espécimen era ahuecadas o apanaladas, se llenó las depresiones con un mortero compuesto por una parte, en peso, de mortero de cemento Portland y dos partes, en peso de arena, e incorporar un aditivo o cloruro de calcio en porcentaje no mayor de 2%.

Dejando reposar los especímenes por lo menos 48 horas antes de aplicarle el refrentado. Se puede realizar un refrentado con yeso o azufre. Se trabajó con el siguiente:

- Para el refrentado con yeso: Se cubrió las caras opuestas e contacto del espécimen con goma laca, una vez completamente secos, se cubrió una de las superficies con una capa delgada de yeso calcinado, que fue distribuida sobre una placa de vidrio. La placa para la superficie de refrentado tuvo que ser plana con margen de 0.08 mm en 400 mm, y suficientemente rígida y apoyada de tal manera que no tuvo deformación detectable durante el proceso

Se cubrió ligeramente con una capa de aceite u otro material apropiado. Se repitió esta operación con la otra superficie de contacto. Se cuidó de tener las superficies de contacto, así conformadas, aproximadamente paralelas entre si y perpendiculares al eje verticales del espécimen y que los espesores del refrentado fueran aproximadamente los mismos sin exceder de 3 mm. Se dejó reposar el refrentado por lo menos 24 horas antes de ensayar los especímenes.



Figura 26. Refrentado con yeso

➤ El Procedimiento es el siguiente:

1. Se ensayó los especímenes de ladrillos sobre su mayor dimensión (esto fue la carga que fue aplicada en la dirección de la profundidad de ladrillo). Se centró los especímenes debajo del apoyo superior con una margen de 2 mm.



Figura 27. Medidas de unidades de albañilería

2. El apoyo superior fue un bloque metálico, asentado esféricamente y firmemente fijo en el centro del cabezal superior de la máquina (rotula). El centro de la rótula se alineó con el centro de la superficie del bloque en contacto con el espécimen.
3. Debió estar a lo menos 6 mm libres del cabezal para permitir su uso con especímenes cuyas superficies de contacto no seas exactamente paralelos a la placa. El diámetro de la superficie de contacto no fue exactamente paralelo a la placa. El diámetro de la superficie de contacto fue al menos de 130 mm. Se usó un bloque de contacto de metal endurecido debajo del espécimen donde se minimizo el desgaste de la placa inferior de la máquina.

Las superficies del bloque de apoyo destinado a contactar los especímenes tuvieron una dureza no menor de 60 HRC (HB620). Estas superficies fueron planas con una tolerancia de 0.03 mm. cuando el área de contacto de los bloques apoyados esféricamente no sea suficiente para cubrir el área del espécimen, donde se colocó una plancha de acero con superficie aplanada con tolerancia de 0.03 mm y con espesor igual a 1/3 de la distancia del extremo del apoyo a la esquina más distante entre el bloque apoyado esféricamente y el espécimen con cobertura.

4. La velocidad que se aplicó la carga, fue hasta la mitad de la máxima carga esperada, con cualquier velocidad adecuada, después de lo cual se ajustó los controles de la máquina de manera tal que la carga aplicada estuvo con una velocidad uniforme en no menos de un minuto ni más de dos minutos.
5. La resistencia a compresión ($f'b$) se obtuvo dividiendo la carga de rotura (P_u) entre el área bruta (A) de la unidad cuando esta es sólida o tubular y el área neta (A) cuando es hueca o perforada; la Norma Peruana, sin embargo, considera siempre como divisor el área bruta, para evitar errores y poder comparar valores de resistencia directamente (Gallegos & Casabonne, 2005). Así, se obtiene el valor:

Ecuación 4. Resistencia a compresión

$$f'b = \frac{P_u}{A} \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

P_u = Máxima carga en Kg, indicada por la máquina de ensayo

A = Promedio del área de la superficie en contacto en cm^2

.5.5 Ensayos no clasificatorios de unidades de albañilería

.5.5.1 Absorción (NTP 331.017, NTP 331.018 y NTP 331.109 y NTP 399.604)

- Se ensayaron 5 especímenes, se comenzó con el secado y ventilando los especímenes de prueba en concordancia con lo especificado.
- Luego se realizó la saturación que consiste en sumergir parcialmente el espécimen en agua limpia (potable, destilada o agua de lluvia) a temperatura entre 15.5°C a 30°C) por el tiempo especificado. Luego se retiró el espécimen, se limpió el agua superficial con un paño y se pesó el espécimen. Se pesó todos los especímenes dentro de los cinco minutos siguientes luego de ser retirados del agua.



Figura 28. Sumergido de unidades de albañilería

- Para el cálculo de la absorción de cada espécimen se expresó con la siguiente ecuación:

Ecuación 5. Absorción

$$\text{Absorción}\% = 100(W_s - W_d)/W_d \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

W_d = Peso seco del espécimen

W_s = Peso del espécimen saturado, después de la sumersión en agua fría.

- Se calculó el promedio de la absorción de todos los especímenes ensayados, con aproximación a 0.1%



Figura 29. Peso del espécimen saturado

.5.5.2 Succión (NTP 331.017, NTP 331.018 y NTP 331.109 y NTP 399.604)

- Se ensayaron 5 ladrillos enteros.
- Se calculó en base a la diferencia en el peso (gr.), entre el peso inicial y final es el peso del agua absorbida por el ladrillo durante el minuto de contacto con el agua. Si el área (largo x ancho) no difiere más de $\pm 2.5\%$ de 200 cm^2 .



Figura 30. Secado al horno de unidades de albañilería

- Se consideró que se emplea testigos secados al horno cuando se trata de ensayos de investigación, y unidades en su estado natural cuando se trata de ensayos para evaluar la succión para un proceso constructivo. El espécimen, después de pesado (P_s), se colocó sobre los soportes durante un minuto; luego se retiraron, se secó la superficie con un paño y se pesaron (P_m). La succión se obtiene del P_m y P_s , son los pesos antes indicados en gramos y A es el área de contacto de la unidad con el agua en centímetros cuadrados. La succión se pudo expresar en $\text{gr}/200\text{cm}^2/\text{min}$ o simplemente en gramos. (Gallegos & Casabonne, 2005)



Figura 31. Secado superficial con paño

Ecuación 6. Succión

$$\text{Succión} \left(\frac{\text{gr}}{200\text{cm}^2} \right)_{\text{min}} = \frac{200 (P_m - P_s)}{A} \dots\dots\dots (6)$$



Figura 32. Ensayo de succión

.5.6 Elaboración de pilas de unidades de albañilería (NTP 399.605 y 399.621)

- Se construyeron un total de 72 pilas de 3 hiladas, 24 pilas de ladrillo fabricadas de arcilla artesanal, 24 pilas de ladrillo de arcilla industrial y 24 de ladrillo de concreto artesanal con un espesor de mortero de 15 mm.
- Se seleccionaron los ladrillos con las dimensiones más similares, regándolas con agua antes del asentado. Para los ladrillos de concreto se pasó una brocha húmeda sobre las caras de asentado o se rociaba, y los ladrillos compuestos de arcilla, se regó durante media hora, entre 10 y 15 horas antes de asentarlas. La succión al instante de asentarla se encontró comprendida entre 10 a 20 gr/200 cm²-min.

- Se trabajó con 4 mezclas diferentes especificadas en la Norma Técnica E.070 para muros portantes (C: A: Cal) 1:4:1/2, 1:5:1/2, 1:4: Sin cal y 1:5: Sin cal.
- Se elaboró la mezcla de mortero con cemento Portland tipo I (bolsa verde), arena de la cantera “El Gavilán”, cal hidratada y agua potable. Se mezcló estos materiales hasta obtener una buena consistencia y trabajabilidad, procediéndose luego al asentado de los ladrillos.
- Al momento de la elaboración de la pilas se controló la altura del mortero con una wincha, y se verificó la nivelación y verticalidad de la pila usando como instrumentos un nivel y una plomada.
- Finalizando se realiza el curado durante 28 días con agua. Regándolos un mínimo de 3 veces por día.



Figura 33. Curado por 28 días a pilas de ladrillos

- Para realizar el ensayo a compresión de pilas, se colocó antes una capa de yeso de 20 mm aproximadamente en la parte inferior y superior para

uniformizar la superficie de contacto en el dispositivo del ensayo de compresión axial.



Figura 34. Refrentado de pilas de unidades de albañilería

.5.6.1 Resistencia a compresión de pilas de unidades de albañilería (NTP 399.605 y 399.621)

- Se midió el área de contacto del prisma y la altura. Luego se limpiaron las caras superior e inferior de la máquina de ensayo y de la muestra. Se colocó la pila en la máquina de ensayo apoyándolo en la plancha inferior y se centró los ejes del espécimen con los ejes de la plancha de apoyo. Se acercaron los cabezales hasta hacer contacto con la parte superior de la pila.



Figura 35. Medida de pilas

- Se aplicó la carga hasta alcanzar la mitad de la carga máxima esperada a una velocidad de 50 KN/min, luego se retiró los instrumentos de medición y se aplicó la carga remanente a una velocidad adecuada en no menos de 1 minuto ni más de 2 minutos.
- Se registró la carga máxima, donde se obtuvo mediante la ecuación 7, la resistencia a compresión.



Figura 36. Carga máxima

Ecuación 7. Resistencia a compresión axial

$$f_m = \frac{P_{max}}{\text{Área}} \dots \dots \dots (7)$$

Donde:

f_m : Resistencia a compresión axial (Kg/cm²)

$P_{máx}$: Fuerza máxima que resiste la pila (Kg)

Área : Área bruta transversal a la fuerza (cm²)

- Luego se procedió a aplicar la corrección el f'_m , con el factor de corrección de esbeltez de la pila indicada en la tabla N 3 de la Norma Técnica E.070, denominado como "C" y esta se obtuvo de la interpolación de dicha tabla.

- Se calculó la resistencia característica restando la desviación estándar a la resistencia promedio.

Ecuación 8. Resistencia característica

$$f'm = fm - \sigma \dots \dots \dots (8)$$

Donde:

fm : Resistencia a compresión (Kg/cm²)

$f'm$: Resistencia característica a compresión (Kg/cm²)

σ : Desviación estándar.

.5.7 Resistencia a compresión de mortero (MTC E609-ASTM C109-NTP 334.051)

- Se realizó seis morteros de cada tipo de mezcla usada en las pilas de investigación donde se pesó los materiales en base a las proporciones de la mezcla señalada.
- Se realizó el mezclado uniformemente de la arena y el cemento hasta que se integren totalmente, se fue colocando el agua conforme se realizó el mezclado para unificar la mezcla.
- Posteriormente se lubricaron los moldes con el material necesario para que estos no se peguen. Luego, se realizó el moldeado de los especímenes por apisonamiento manual, vertiendo la mezcla en los moldes cúbicos, compactando en cada compartimiento 32 veces en alrededor de 10 segundos en 4 rondas.

- Después de completar el moldeo, se procedió a desmoldar e identificar a las 24 horas de edad cada muestra, donde posteriormente fueron sumergidos los especímenes en agua de cal saturada en tanques de almacenamiento, libres de daños.
- Se retiró de los tanques de almacenamiento los cubos que cumplieron sus 28 días de curado, y luego dejarlos secar para seguidamente ser medidos y posteriormente ensayados. Además; se comprobó por medio de una regla que las caras están perfectamente planas, para que luego el espécimen fuera colocado en la máquina de compresión.
- Para determinar la resistencia a compresión (f_m) se determinó dividiendo la carga de rotura entre el área bruta en los testigos cilíndricos; y la resistencia a compresión característica del mortero f'_m se obtuvo restando una desviación estándar al promedio de los resultados.

Ecuación 9. Resistencia a compresión

$$f_m = \frac{P_{max}}{Área} \dots \dots \dots (9)$$

Esta fórmula es la representativa de la resistencia a compresión de diferentes especímenes como el ladrillo, mortero y concreto. Como se observa en la fórmula 9 y 7.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Se presenta la curva granulométría dentro de los límites superior e inferior de la arena gruesa que se generó de los datos obtenidos del ensayo de granulometría (Tabla N 17 – Datos de la granulometría), obteniendo un módulo de finura de 2.26.

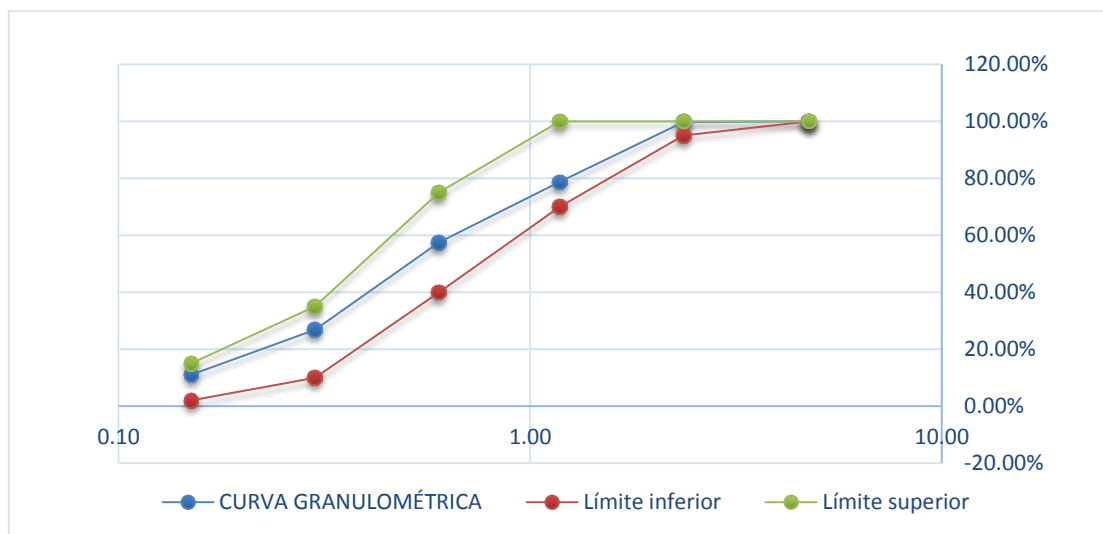


Figura 37. Curva Granulométrica

Se presenta la tabla de la clasificación según la Norma Técnica E.070 de las tres unidades de albañilería en base a los resultados de los ensayos realizados en el laboratorio de la Universidad Privada Del Norte - Cajamarca (Anexo n° 2), obteniendo como resultado final la clasificación en la siguiente Tabla N 9.

Se tuvo como referencia la tabla N 10, donde nos indica los valores para la clasificación de las unidades de albañilería.

Tabla 9

Clasificación de las unidades de albañilería.

| Tipo de Ladrillo | Variación de la dimensión | | | Alabeo promedio (máximo en mm) | Resistencia a compresión (Kg/cm ²) | Clasificación final de la unidad de albañilería |
|--------------------------------|---------------------------|--------------|---------------|--------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| | Hasta 100 mm | Hasta 150 mm | Más de 150 mm | | | |
| Ladrillo de arcilla artesanal | 2.74% | 1.93% | 1.80% | 7.68 | 52.291 | Tipo I |
| Ladrillo de arcilla industrial | 0.87% | 0.83% | 0.35% | 1.30 | 123.879 | Tipo IV |
| Ladrillo de concreto artesanal | 1.96% | 0.87% | 1.00% | 6.68 | 76.903 | Tipo II |

Tabla 10

Clase de unidad de albañilería para fines estructurales

| CLASE | VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN (máxima en porcentaje) | | | ALABEO (Máximo en mm) | RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESION f _b mínimo en MPa (Kg/cm ²) sobre área bruta |
|--------------|--------------------------------------------------|--------------|---------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Hasta 100 mm | Hasta 150 mm | Más de 150 mm | | |
| Ladrillo I | ±8 | ±6 | ±4 | 10 | 4,9(50) |
| Ladrillo II | ±7 | ±6 | ±4 | 8 | 6,9(70) |
| Ladrillo III | ±5 | ±4 | ±3 | 6 | 9,3(95) |
| Ladrillo IV | ±4 | ±3 | ±2 | 4 | 12,7(130) |
| Ladrillo V | ±3 | ±2 | ±1 | 2 | 17,6(180) |
| Bloque P | ±4 | ±3 | ±2 | 4 | 4,9(50) |
| Bloque NP | ±7 | ±6 | ±4 | 8 | 2,0(20) |

Fuente: Vivienda, 2006.

Se presenta los datos de las 15 unidades de albañilería que fueron sometidas a compresión, la toma de datos se encuentra en los Anexos n° 3.

Tabla 11

Tabla resumen de resistencia a compresión de unidades de albañilería

| Espécimen (Kg/cm²) | Ladrillo de arcilla artesanal | Ladrillo de concreto artesanal | Ladrillo de arcilla industrial |
|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Espécimen 1 | 57.244 | 85.534 | 125.718 |
| Espécimen 2 | 54.896 | 78.721 | 126.676 |
| Espécimen 3 | 65.090 | 75.710 | 125.869 |
| Espécimen 4 | 54.637 | 84.321 | 124.078 |
| Espécimen 5 | 53.251 | 80.401 | 131.861 |
| Resistencia Promedio(f' b) | 57.024 | 80.938 | 126.840 |
| Desviación estándar (σ) | 4.732 | 4.034 | 2.961 |
| Resistencia f' b | 52.291 | 76.903 | 123.879 |

La siguiente tabla, se muestra el resumen de los 24 cubos de morteros ensayados a compresión (fm), de las 4 mezclas realizadas. Realizando 6 por cada espécimen.

Tabla 12

Tabla resumen de fm de los cubos de mortero

| Espécimen (Kg/cm²) | Mortero de 1:4 | Mortero de 1:4:1/2 | Mortero de 1:5 | Mortero de 1:5:1/2 |
|--------------------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Mortero 1 | 138.201 | 145.299 | 122.589 | 129.367 |
| Mortero 2 | 134.895 | 146.993 | 114.244 | 128.886 |
| Mortero 3 | 132.303 | 148.663 | 117.417 | 120.787 |
| Mortero 4 | 137.591 | 142.011 | 120.404 | 124.478 |
| Mortero 5 | 135.198 | 139.527 | 121.891 | 130.313 |
| Mortero 6 | 136.276 | 155.209 | 121.549 | 124.190 |
| Resistencia Promedio (fm) | 135.744 | 146.283 | 119.682 | 126.337 |
| Desviación estándar (σ) | 2.125 | 5.490 | 3.226 | 3.751 |
| Resistencia fm | 133.619 | 140.793 | 116.457 | 122.586 |

En base a esos resultados, se tiene las siguientes barras para determinar su variación por mezcla aplicada con y sin cal.

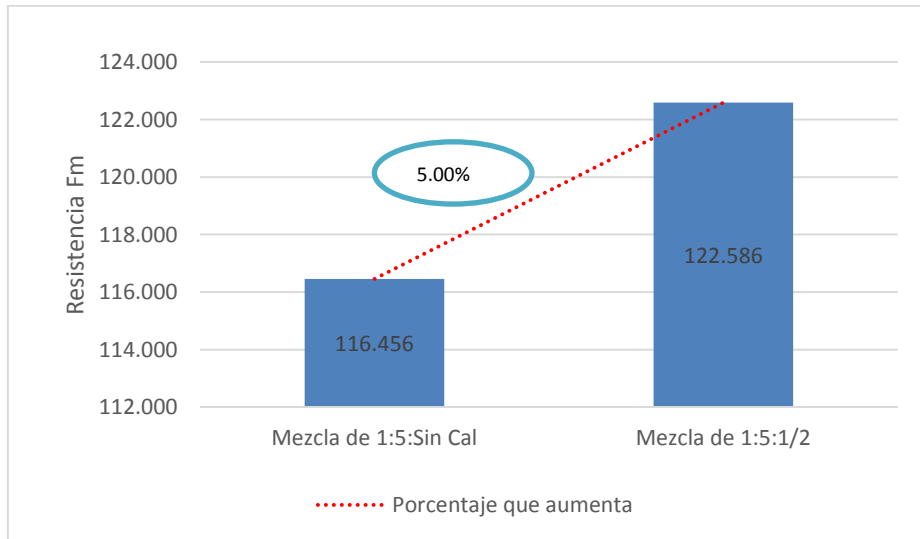


Figura 38. La resistencia fm de cubos de mortero de 1:5 añadiendo cal.

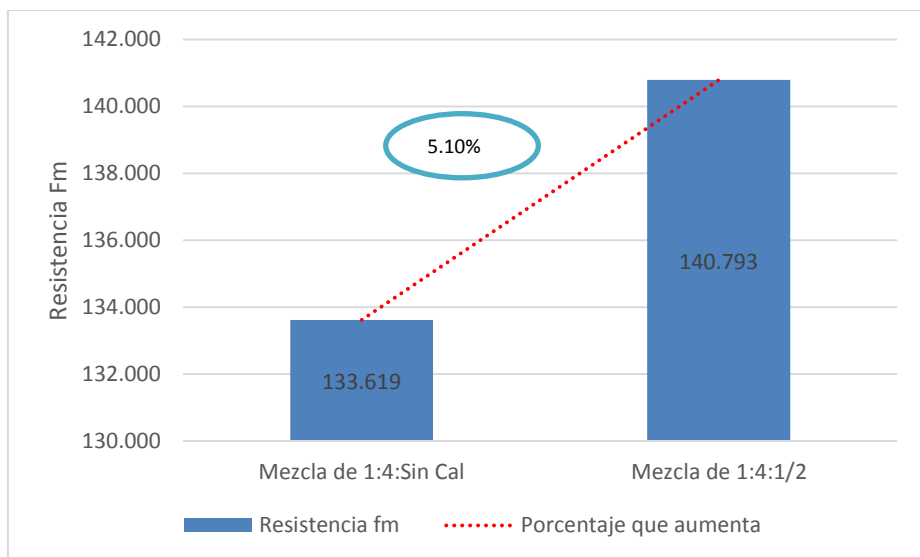


Figura 39. La resistencia fm de cubos de mortero de 1:4 añadiendo cal

Las siguientes tres tablas son un resumen de los resultados de la resistencia a compresión (f'm) de las 4 mezclas aplicadas en las 72 pilas por los tres diferentes tipos de ladrillos.

Tabla 13

Tabla resumen de $f'm$ de pilas de ladrillo de arcilla artesanal

| Ladrillos de Arcilla artesanal | Mortero de 1:4 | Mortero de 1:4:1/2 | Mortero de 1:5 | Mortero de 1:5:1/2 |
|---------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Pila 1 | 24.666 | 28.676 | 19.290 | 21.809 |
| Pila 2 | 25.493 | 23.924 | 18.685 | 22.555 |
| Pila 3 | 20.725 | 26.393 | 20.376 | 21.308 |
| Pila 4 | 22.867 | 26.835 | 21.179 | 22.616 |
| Pila 5 | 27.227 | 23.428 | 19.733 | 19.347 |
| Pila 6 | 20.027 | 28.323 | 19.698 | 19.002 |
| Resistencia Promedio ($f'm$) | 23.501 | 26.263 | 19.827 | 21.106 |
| Desviación estándar (σ) | 2.807 | 2.187 | 0.866 | 1.577 |
| Resistencia $f'm$ (Kg/cm²) | 20.694 | 24.076 | 18.961 | 19.529 |

Tabla 14

Tabla resumen de $f'm$ de pilas de ladrillo de arcilla industrial

| Ladrillos de Arcilla industrial | Mortero de 1:4 | Mortero de 1:4:1/2 | Mortero de 1:5 | Mortero de 1:5:1/2 |
|---------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Pila 1 | 54.344 | 57.968 | 43.749 | 49.762 |
| Pila 2 | 54.168 | 52.372 | 46.875 | 41.828 |
| Pila 3 | 49.026 | 52.327 | 46.317 | 47.405 |
| Pila 4 | 48.654 | 49.004 | 48.526 | 42.108 |
| Pila 5 | 46.411 | 58.483 | 40.750 | 48.979 |
| Pila 6 | 48.719 | 54.343 | 43.462 | 49.812 |
| Resistencia Promedio ($f'm$) | 50.220 | 54.083 | 44.946 | 46.649 |
| Desviación estándar (σ) | 3.263 | 3.642 | 2.816 | 3.730 |
| Resistencia $f'm$ (Kg/cm²) | 46.957 | 50.441 | 42.130 | 42.919 |

Tabla 15

Tabla resumen de $f'm$ de pilas de ladrillo de concreto artesanal

| Ladrillos de concreto artesanal | Mortero de 1:4 | Mortero de 1:4:1/2 | Mortero de 1:5 | Mortero de 1:5:1/2 |
|---------------------------------------------------------|----------------|--------------------|----------------|--------------------|
| Pila 1 | 36.111 | 37.776 | 29.758 | 30.231 |
| Pila 2 | 34.536 | 45.160 | 25.026 | 24.493 |
| Pila 3 | 42.150 | 44.346 | 22.996 | 34.627 |
| Pila 4 | 41.358 | 36.757 | 34.698 | 34.421 |
| Pila 5 | 33.745 | 38.744 | 28.599 | 27.506 |
| Pila 6 | 40.463 | 38.584 | 28.936 | 24.970 |
| Resistencia Promedio ($f'm$) | 38.061 | 40.228 | 28.335 | 29.375 |
| Desviación estándar (σ) | 3.694 | 3.585 | 4.059 | 4.484 |
| Resistencia $f'm$ (Kg/cm²) | 34.367 | 36.643 | 24.276 | 24.891 |

En base a los resultados, se realizó las siguientes barras para determinar su variación al incorporar ½ de cal dentro del mortero.

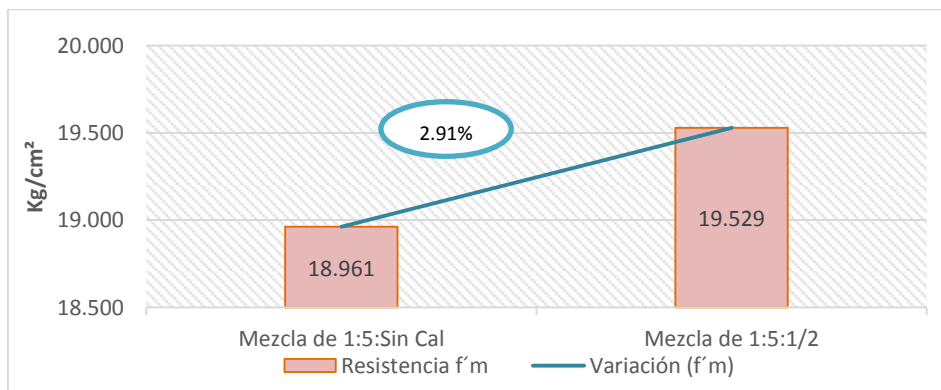


Figura 40. Resistencia $f'm$ de pilas de ladrillo de arcilla artesanal de 1:5 y 1:5:1/2

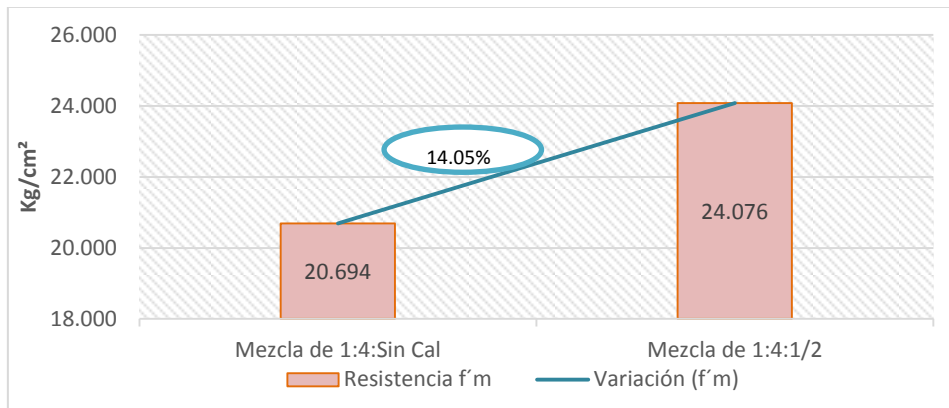


Figura 41. Resistencia $f'm$ de pilas de ladrillo de arcilla artesanal de 1:4 y 1:4:1/2

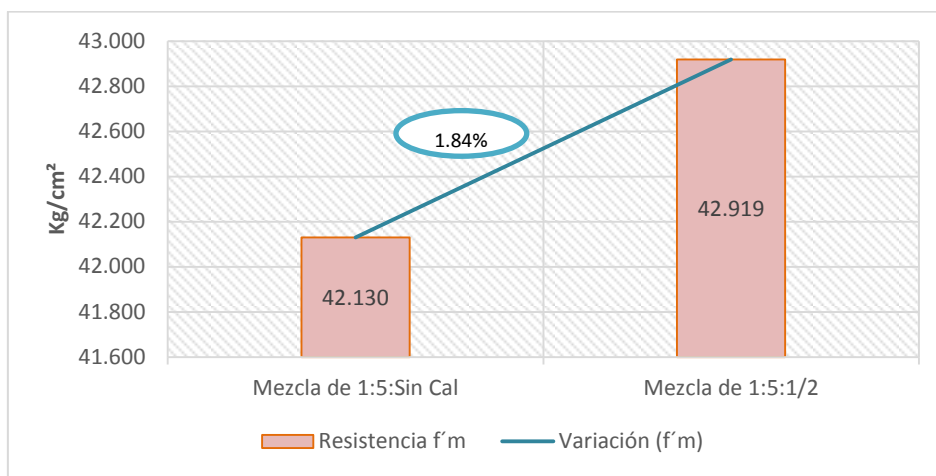


Figura 42. Resistencia $f'm$ de pilas de ladrillo de arcilla industrial de 1:5 y 1:5:1/2

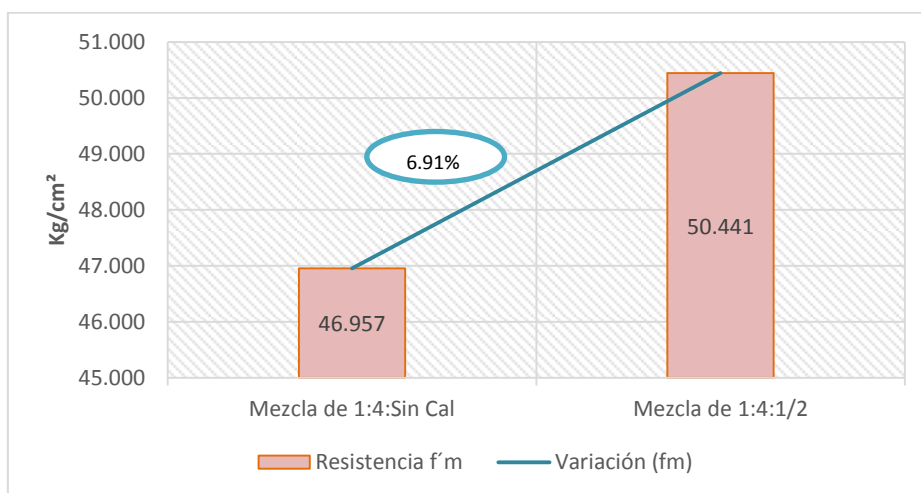


Figura 43. Resistencia $f'm$ de pilas de ladrillo de arcilla industrial de 1:4 y 1:4:1/2

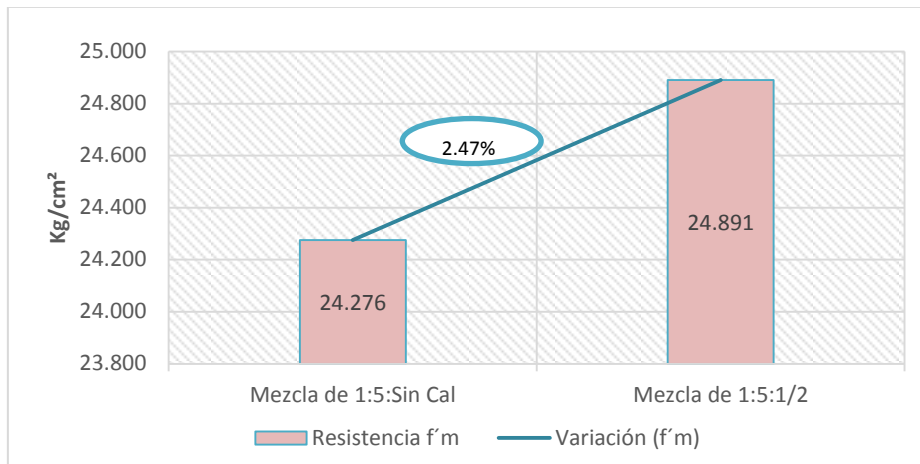


Figura 44. Resistencia $f'm$ de pilas de ladrillo de concreto artesanal de 1:5 y 1:5:1/2

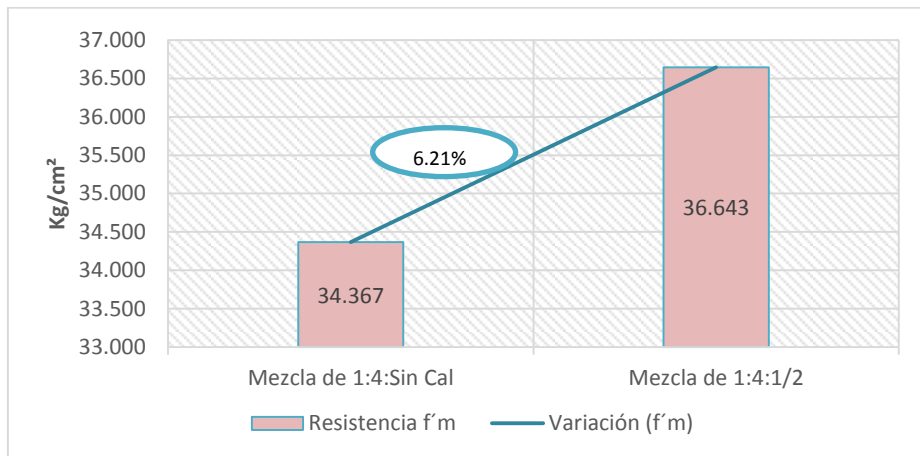


Figura 45. Resistencia $F'm$ de pilas de ladrillo de concreto artesanal de 1:4 y 1:4:1/2

A continuación se presenta la tabla resumen de la variación de la resistencia $f'm$ de pilas que sufre cada muestra al aumentar $\frac{1}{2}$ de cal dentro del mortero

Tabla 16

Variación de la resistencia de $f'm$ de pilas aumentando cal al mortero

| Resistencia $f'm$ de pilas | Variación añadiendo $\frac{1}{2}$ de cal en mortero de 1:5 | Variación añadiendo $\frac{1}{2}$ de cal en mortero de 1:4 |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Ladrillo de arcilla artesanal | +2.91% | +14.05% |
| Ladrillo de arcilla industrial | +1.84% | +6.91% |
| Ladrillo de concreto artesanal | +2.47% | +6.21% |

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

En la Figura N 37, la curva granulométría de la arena gruesa para ser empleada dentro del mortero, se encontró dentro de los límites (Tabla N 8 – Granulometría de la arena gruesa) y con un módulo de Finura de 2.26 encontrándose entre 1.6 y 2.5 que son los límites permisibles.

De acuerdo a la clasificación de los ladrillo de la tabla N 10 de la Norma Técnica E.070, los resultados obtenidos de los ensayos de la tabla N 9. Se determinó que debido a la variación de la dimensión, clasificamos al ladrillo de arcilla artesanal, arcilla industrial y de concreto artesanal en tipo V. De acuerdo a su alabeo, clasificamos al ladrillo de arcilla artesanal en un tipo II, de arcilla industrial en un tipo V y el de concreto artesanal en tipo III. Pero teniendo en cuenta que la resistencia a compresión es el valor más relevante para definir su clasificación, denominamos al ladrillo de arcilla artesanal en un tipo I, ladrillo de arcilla industrial en un tipo IV y al ladrillo de concreto artesanal en un tipo II.

En el estudio de Ángel San Bartolomé y Mirlene Castro sobre “Efecto de cinco variables sobre la resistencia de la albañilería”, clasificaron al ladrillo de estudio en un tipo V, eso influyo dentro de los resultados de resistencia a compresión de las pilas incluso siendo mayor sin necesidad de cal. Se necesitó que tanto la unidad como el mortero tengan la resistencia a compresión similar para que presente un comportamiento monolítico.

La resistencia a compresión de las unidades de albañilería (Tabla N 11), el ladrillo de arcilla industrial es el que tiene mayor resistencia, y menor dispersión de resultados por lo que su desviación estándar es baja. Los ladrillos de concreto y arcilla artesanal, aunque su resistencia fue menor, asimismo su desviación estándar cumplió con un valor menor a 10, siendo una unidad idónea para emplear.

En la Tabla N 12 - Tabla resumen de f_m de los cubos de mortero, clasificó por su resistencia mayor a 125 Kg/cm^2 en un Tipo I a los 4 morteros según la norma mexicana NMX-C-486 de mortero para uso estructural. Se muestra en las Figuras N 38 y N 39, ambas resistencias aumentaron al añadir cal dentro del mortero. Esto se debe a que la cal proporcionó mayor retención de agua y mejoró el contenido de aire, mejorando así las propiedades del mortero.

En base a los resultados obtenidos de f_m de pilas de ladrillo de arcilla artesanal, industrial y de concreto (Tabla 13,14 y 15). Se analizó que la tabla resumen de f_m de pilas de ladrillo de arcilla artesanal (Tabla 13), la resistencia a compresión fue mayor al usar cal dentro del mortero que las demás. La desviación estándar cumplió con la tolerancia menor a 10, buscando resultados homogéneos para lograr un comportamiento monolítico dentro de los muros de albañilería.

En las figuras N 41, N 43 y N 45; nos muestra que la hipótesis cumplió empleando la dosificación 1:4 y 1:4:1/2, encontrándose que al añadir cal aumenta entre el 5 al 15% la resistencia a compresión de pilas. Mientras que en las figuras N 40, N 42 y N 44 la dosificación 1:5 y 1:5:1/2 ,debido a que aumenta la proporción de arena respecto al cemento, disminuyó la influencia del comportamiento de la cal dentro

del mortero, encontrándose que aumenta entre el 1 al 3%, no cumpliendo con lo planteado en la hipótesis.

Se tiene como antecedente en la Tesis “Mejora de la adherencia mortero - ladrillo de concreto” de Álvaro Morante, no presentó una gran diferencia mayor en la resistencia a compresión el incluir dentro del mortero, porque el ladrillo empleado fue el King Koncreto presentado ranuras y menor absorción, lo que se obtiene como resultado que el comportamiento de la cal no influyó dentro del mortero.

Se indica en la tabla N 14, la pila de ladrillo que mejor trabajó con la cal, es el de arcilla artesanal. Se debe a que la unidad posee una buena absorción (15.73%) por lo que tiene mayor adherencia con el mortero. Aunque el ladrillo de arcilla industrial posee un porcentaje de absorción considerable (11.05%), La cal dentro del mortero no influyó en su adherencia por la penetración del mortero en las ranuras del ladrillo, debido que formó llaves de corte en la interface ladrillo - mortero. Al igual que en la tesis de “Reforzamiento de vivienda existentes construidas con muros confinados hechos con ladrillos pandereta - segunda etapa ” , por Tania Araoz y Jhonatan Velezmoro, donde indicó que debido a la presencia de poca área axial neta esto influyó en los resultados de la resistencia a compresión, obteniendo comportamientos frágiles.

Se observó que el modelo de falla fueron grietas que iniciaban en el centro o extremos de las pilas llegando a romperse primero el ladrillo y eso se debió a que el ladrillo es menos resistente que el mortero. Este es el caso de los ladrillos de arcilla artesanal y de concreto.

Se observó fallas frágiles en las dosificaciones que se trabajaron con cal en el mortero, siendo estas cortadas al centro de las pilas. Las pilas de ladrillo fabricadas artesanalmente presentaron grietas verticales en las caras frontales principalmente, y en las pilas de ladrillo fabricado industrialmente tuvieron una falla frágil y trituración en los bordes.

Se recomienda continuar con la investigación determinando que otra variable puede intervenir en el aumento de la resistencia a compresión. Teniendo en cuenta un diferente espesor de mortero, tipo de cemento, curado (7,14 y 21 días), unidades de albañilería de otras canteras y dosificaciones. Asimismo, hacer muretes para realizar el ensayo de corte (V'm) para medir la adherencia entre el ladrillo y el mortero.

Se recomienda realizar una evaluación económica para determinar cuánto aumenta el costo el agregar cal dentro del mortero en una obra en Cajamarca.

4.2 Conclusiones

La hipótesis planteada cumple parcialmente 2 de las 4 mezclas aplicadas en los tres tipos de ladrillos. En la dosificación de 1:4 añadiendo cal se produce una variación de la resistencia compresión de pilas entre 5% al 15%. A diferencia de la dosificación 1:5 añadiendo cal, aumenta solo del 1 al 3%. Esto se debe a que la presencia de mayor cantidad de arena afecta en el comportamiento de la cal dentro del mortero.

Se concluye que existe una variación positiva del 1% al 15% de la resistencia a compresión de las pilas de ladrillos de arcilla industrial, artesanal y de concreto al añadir $\frac{1}{2}$ de cal dentro del mortero.

La resistencia a compresión de cubos de mortero con una mezcla de 1:4: Sin cal fue de 116.457 Kg/cm² y el de 1:4:1/2 fue de 122.586 Kg/cm²; con una mezcla de 1:5: Sin cal fue de 133.619 Kg/cm² y el de 1:4:1/2 fue de 140.793 Kg/cm².

Se clasificó según la Norma Técnica E.070, al ladrillo de arcilla industrial como tipo IV, al ladrillo de arcilla artesanal como tipo I y el ladrillo de concreto artesanal tipo II.

Se obtuvo que una resistencia a compresión de pilas de arcilla artesanal con un mortero de 1:4 fue de 20.694 Kg/cm², añadiendo $\frac{1}{2}$ cal de 24.076 Kg/cm², y de un mortero de 1:5 fue de 18.961 Kg/cm², añadiendo $\frac{1}{2}$ cal de 19.529 Kg/cm².

Se obtuvo que una resistencia a compresión de pilas de arcilla industrial con un mortero de 1:4 fue de 46.957 Kg/cm², añadiendo ½ cal de 50.441 Kg/cm², y de un mortero de 1:5 fue de 42.130 Kg/cm², añadiendo ½ cal de 42.919 Kg/cm².

Se obtuvo que una resistencia a compresión de pilas de concreto artesanal con un mortero de 1:4 fue de 34.367 Kg/cm², añadiendo ½ cal de 36.643 Kg/cm², y de un mortero de 1:5 fue de 24.271 Kg/cm², añadiendo ½ cal de 24.891 Kg/cm².

REFERENCIAS

1. ANCADE. (s.f.). Obtenido de http://www.ancade.com/Cal-hidratada_es_4_12_0_1.html
2. ARQHYS. (2012). Obtenido de <http://www.arqhys.com/contenidos/ladrillos-tipos.html>
3. ASTM C109. (2008). Método normalizado de ensayo de resistencia a compresión de morteros de cemento hidráulico.
4. ASTM C136. (2014). Método de ensayo normalizado para la determinación granulométrica de agregados finos y gruesos.
5. Bailey. (2010). Curso básico de construcción. Balderas: LIMUSA.
6. BARTOLOMÉ, A. S. (1994). Construcciones de albañilería. Lima: Pontificia universidad católica del Perú.
7. Bartolomé, A. S. (1994). Construcciones de albañilería - comportamiento sísmico y diseño estructural. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú Fondo.
8. Bartolomé, I. Á. (2005). COMENTARIOS A LA NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN E.070 ALBAÑILERÍA INFORME FINAL. Lima: SENCICO.
9. Bartolomé, S., Quiun, & Mendoza. (s.f.). ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL FACTOR DE CORRECCIÓN POR ESBELTEZ EN PILAS DE ALBAÑILERIA. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
10. Chinchilla Paiz, J. (2010). EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN 18 AÑOS DESPUÉS DE MUROS DE MAMPOSTERÍA DE CEMENTOS PUZOLANICOS. Guatemala: UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.
11. Comité asesor Japonés. (2004). Construyendo edificaciones de albañilería con tecnologías apropiadas. Lima: Universidad Nacional De Ingeniería.

12. De Solminihac T., H., & Thenoux Z., G. (2005). Procesos y técnicas de construcción. ANDROS.
13. Decoración 2.0. (s.f.). Obtenido de <https://decoracion2.com/sugerencias-para-revestir-con-ladrillos/>
14. Gallegos, H., & Casabonne, C. (2005). ALBAÑILERÍA ESTRUCTURAL. Lima: Pontificia Universidad Católica Del Perú.
15. Google Maps. (2018). Obtenido de <https://www.google.com.pe/maps>
16. Grupo Calidra. (s.f.). Mezclas de cal en la construcción.
17. HISPALYT. (1998). Manual de ejecución de fachadas con ladrillo caravista. Madrid.
18. INDECOPI. (2005). NORMA DE UNIDADES NTP 399.613. Lima.
19. INDECOPI COMISION DE REGLAMENTOS TÉCNICOS Y COMERCIALES. (1978). NORMAS TÉCNICA PERUANA - ELEMENTOS DE ARCILLA COCIDA. Lima.
20. Instituto del cemento y del hormigón de Chile. (2010). Manual del albañil de ladrillos cerámicos. Santiago.
21. DIRECCION VIVIENDA. REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES. Norma Técnica E.070 (2006). Albañilería. Lima.
22. NORMA TÉCNICA PERUANA 331.017. (1978). ELEMENTOS DE ARCILLA COCIDA. Lima: ITINTEC.
23. NORMA TÉCNICA PERUANA 331.019. (1982). ELEMENTOS DE ARCILLA COCIDA. Lima: ITINTEC.
24. Normas técnicas complementarias. (s.f.). Obtenido de <http://www.contraloriadf.gob.mx/prontuario/vigente/745.htm>
25. NTP 331.017. (1978). ELEMENTOS DE ARCILLA COCIDA. Lima: ITINTEC.

26. NTP 399.604. (2002). UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto. INACAL.
27. NTP 399.605. (2013). UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería. INACAL.
28. NTP 399.613. (2005). NORMAS DE UNIDADES. Lima: INDECOPI.
29. NTP 400.012. (2001). AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado. Lima: INDECOPI.
30. Pinterest. (s.f.). Obtenido de <https://www.pinterest.com/pin/206321226648790622/>
31. Quispe, N. (2006). CONSTRUCCIONES II. Facultad de ingeniería de minas, geología y civil, (pág. 104).
32. Rosell. (s.f.). Algunas consideraciones sobre la cal y sus morteros. Barcelona.
33. UNICON. (s.f.). Obtenido de <http://www.unicon.com.pe/principal/categoria/ladrillos-konkreto/96/c-96>
34. UNICON. (s.f.). Ficha técnica - Elementos de pared concreto. UNICON, 2.

ANEXOS

ANEXO n.º 1. Panel fotográfico

ANEXO n.º 2. Tablas de procesamiento de datos

ANEXO n.º 3. Protocolos de laboratorio

ANEXO n.º 4. Ficha técnica de cemento Portland – Tipo I

ANEXO n°1. PANEL FOTOGRAFICO



Figura 46. Cuarteo del agregado grueso



Figura 47. Resultados de ensayo de absorción



Figura 48. Ensayo de succión



Figura 49. Verificación de trabajo con el asesor

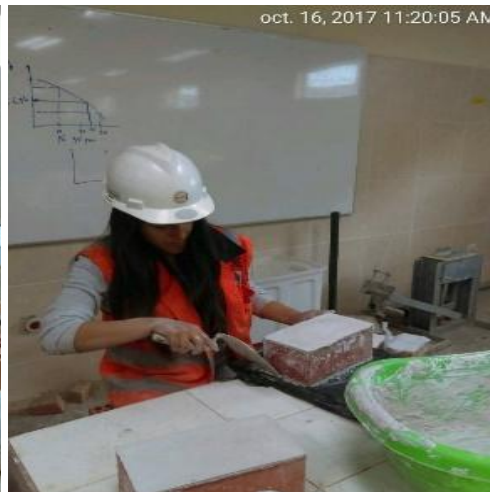


Figura 50. Elaboración de refrentado a unidades de albañilería



Figura 51. Ensayo de granulometría



Figura 52. Resistencia a compresión de unidades de albañilería



Figura 53. Fallas de unidades de albañilería



Figura 54. Toma de datos de ensayo de resistencia a compresión

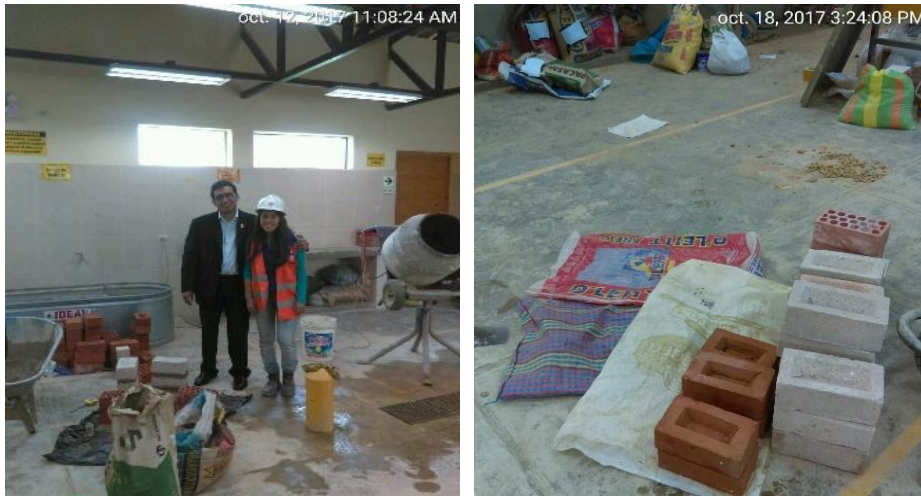


Figura 55. Preparación de materiales para elaboración de pilas



Figura 56. Elaboración de mezcla de mortero



Figura 57. Elaboración de las pilas de unidades de concreto



Figura 58. Elaboración de las pilas de unidades de arcilla industrial



Figura 59. Elaboración de las pilas de unidades de arcilla artesanal



Figura 60. Colocación de mezcla de mortero con cal en el molde



Figura 61. Colocación de mezcla de mortero sin cal en el molde



Figura 62. Cubos de morteros sacados del molde



Figura 63. Pilas de unidades de ladrillos



Figura 64. Fallas de pilas de unidades de arcilla



Figura 65. Fallas de pilas de unidades de concreto



Figura 66. Pilas de unidades de ladrillos



Figura 67. Fallas de pilas de unidades de arcilla



Figura 68. Carga última de pilas de unidades de albañilería



Figura 69. Pilas de unidades de ladrillos



Figura 70. Fallas de pilas de unidades de concreto



Figura 71. Fallas de pilas de arcilla industrial



Figura 72. Ensayo de resistencia a compresión de Pilas de unidades de ladrillos



Figura 73. Fallas de pilas de arcilla industrial



Figura 74. Fallas presentadas en cubos de mortero sin cal



Figura 75. Fallas de todos los cubos de mortero

ANEXO n°2. PROCESAMIENTO DE RESULTADOS

1.1. Ensayos de agregado grueso

a. Análisis granulométrico

Tabla 17

Datos de la granulometría

| TAMIZ (pulg) | (mm) | PESO RETENIDO | PESO RETENIDO ACUM. | % RETENIDO ACUMU. | % QUE PASA |
|-----------------|------|------------------|---------------------------|-------------------------|---------------|
| N° 4 | 4.75 | 0.00 | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| N° 8 | 2.36 | 2.30 | 2.30 | 0.23% | 99.77% |
| N° 16 | 1.18 | 210.40 | 212.70 | 21.30% | 78.70% |
| N° 30 | 0.60 | 212.00 | 424.70 | 42.54% | 57.46% |
| N° 50 | 0.30 | 305.80 | 730.50 | 73.17% | 26.83% |
| N° 100 | 0.15 | 157.90 | 888.40 | 88.98% | 11.02% |
| Fondo | | 110.00 | 998.40 | 100.00% | 0.00% |

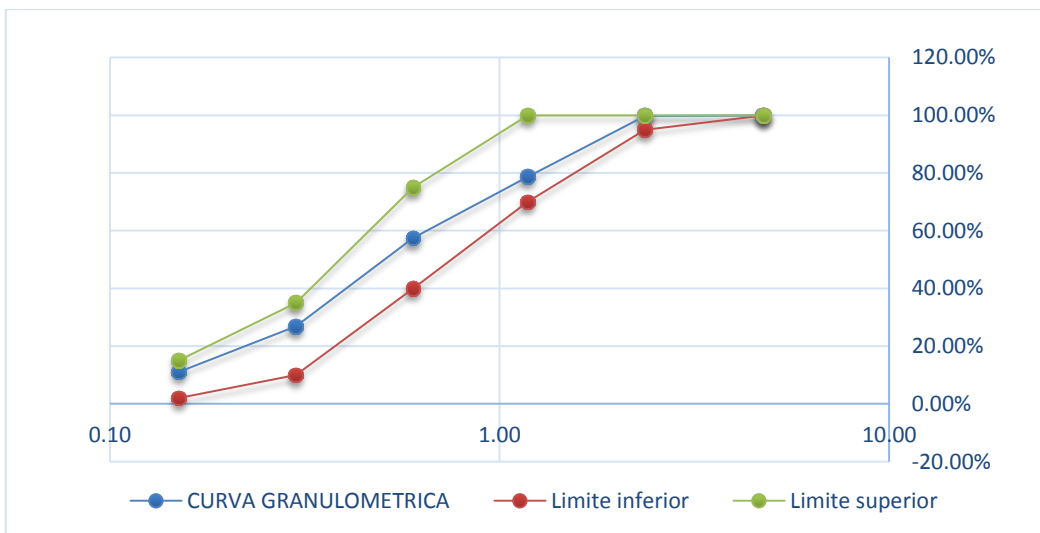


Figura 76. Curva granulométrica de agregado grueso.

$$\text{Módulo de finura} = \frac{\sum \% \text{Retenido acumulado (Hasta el tamiz \#100)}}{100}$$

$$\text{Módulo de finura} = \frac{0.23+21.3+42.53+73.16+88.98}{100}$$

Módulo de finura = 2.26

1.2. Ensayos de unidades de albañilería

a. Variación dimensional.

Tabla 18

Variación dimensional

| VARIACIÓN DIMENSIONAL | Ladrillo de arcilla artesanal | | | Ladrillo de concreto artesanal | | | Ladrillo de arcilla industrial | | |
|------------------------------------------------------|----------------------------------|--------|-------|-----------------------------------|--------|-------|-----------------------------------|--------|-------|
| | Largo | Altura | Ancho | Largo | Altura | Ancho | Largo | Altura | Ancho |
| Variación dime. promedio | 21.96 | 7.91 | 12.41 | 23.11 | 9.64 | 12.24 | 23.12 | 9.08 | 12.40 |
| Desviación estándar (σ) | 0.40 | 0.22 | 0.24 | 0.23 | 0.19 | 0.11 | 0.08 | 0.08 | 0.10 |
| Variación dimensional (%) | 1.80% | 2.74% | 1.93% | 1.00% | 1.96% | 0.87% | 0.35% | 0.87% | 0.83% |

b. Alabeo

Tabla 19

Ensayo de alabeo

| Especimen | Cóncavo | Convexo |
|---------------------------------------|---------|---------|
| | mm | |
| Ladrillo de arcilla artesanal | 7.68 | 0.95 |
| Ladrillo de concreto artesanal | 6.68 | 2.18 |
| Ladrillo de arcilla industrial | 1.30 | 0.80 |

c. Absorción

Tabla 20

Ensayo de absorción

| Especimen | Absorción (%) |
|---------------------------------------|------------------|
| Ladrillo de concreto artesanal | 5.80% |
| Ladrillo de arcilla industrial | 11.05% |
| Ladrillo de arcilla artesanal | 15.73% |

d. **Succión**

Tabla 21

Ensayo de succión

| Espécimen | Succión (gr/200cm ² /min) |
|--------------------------------|--------------------------------------------|
| Ladrillo de arcilla artesanal | 98.523 |
| Ladrillo de concreto artesanal | 17.961 |
| Ladrillo de arcilla industrial | 13.629 |

e. **Resistencia a compresión de unidades**

A. Ladrillo de arcilla artesanal

Tabla 22

Resistencia a compresión de unidades de arcilla artesanal

| Muestra | Área (cm ²) | Carga máxima (Kg) | f'b (Kg/cm ²) |
|---------------------------|-------------------------|----------------------|---------------------------|
| 2.1 | 266.633 | 15263 | 57.2436 |
| 2.2 | 269.419 | 14790 | 54.8958 |
| 2.3 | 282.177 | 18367 | 65.0904 |
| 2.4 | 260.280 | 14221 | 54.6373 |
| 2.5 | 281.366 | 14983 | 53.2510 |
| Resistencia promedio(f'b) | | | 57.0236 |
| Desviación estándar (σ) | | | 4.7322 |
| Resistencia f'b | | | 52.2914 |

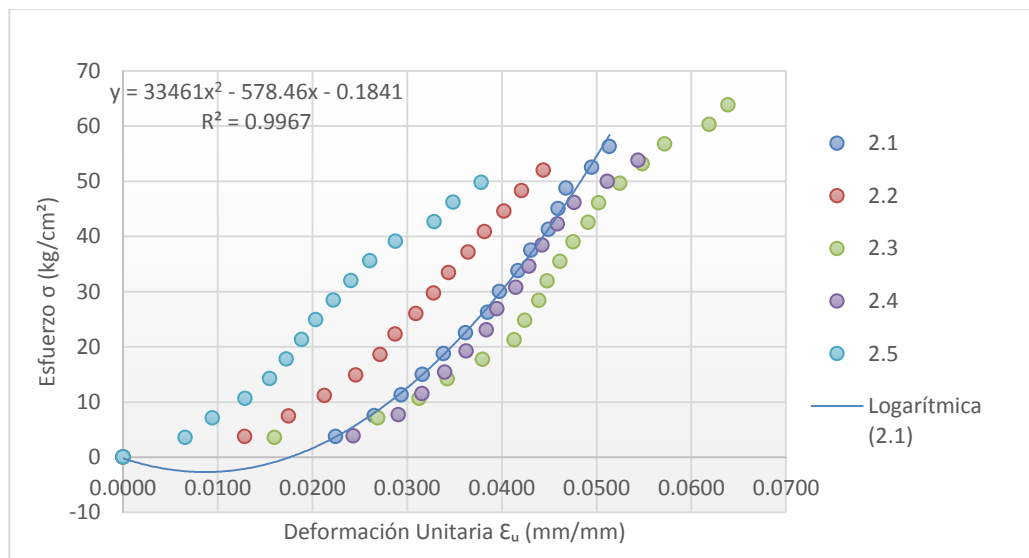


Figura 77. Esfuerzo vs Deformación unitaria (Unidades de arcilla artesanal)

B. Ladrillo de arcilla industrial

Tabla 23. Resistencia a compresión de unidades de arcilla industrial

Resistencia a compresión de unidades de arcilla industrial

| Muestra | Área (cm ²) | Carga máxima (Kg) | f' b (Kg/cm ²) |
|----------------------------|-------------------------|-------------------|----------------------------|
| 3.1 | 285.497 | 35892 | 125.7177 |
| 3.2 | 284.238 | 36006 | 126.6756 |
| 3.3 | 283.820 | 35724 | 125.8685 |
| 3.4 | 284.757 | 35332 | 124.0775 |
| 3.5 | 283.731 | 37413 | 131.8608 |
| Resistencia promedio(f' b) | | | 126.8400 |
| Desviación estándar (σ) | | | 2.9610 |
| Resistencia f' b | | | 123.8790 |

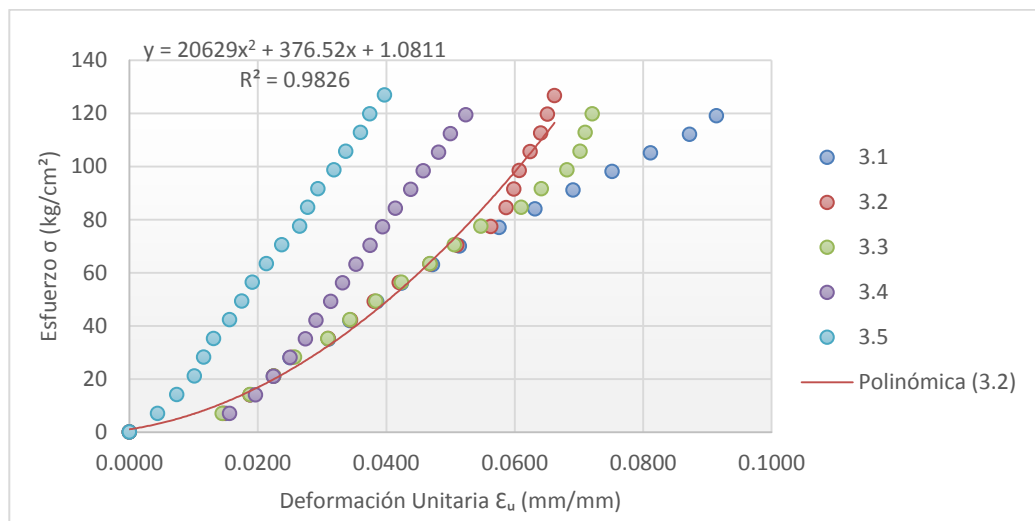


Figura 78. Esfuerzo vs Deformación unitaria (Unidades de arcilla industrial)

C. Ladrillo de concreto artesanal

Tabla 24

Resistencia a compresión de unidades de concreto artesanal

| Muestra | Área (cm ²) | Carga máxima (Kg) | f' b (Kg/cm ²) |
|----------------------------|-------------------------|-------------------|----------------------------|
| 1.1 | 280.391 | 23983 | 85.5342 |
| 1.2 | 284.130 | 22367 | 78.7210 |
| 1.3 | 275.155 | 20832 | 75.7101 |
| 1.4 | 280.997 | 23694 | 84.3212 |
| 1.5 | 284.834 | 22901 | 80.4012 |
| Resistencia promedio(f' b) | | | 80.9375 |
| Desviación estándar (σ) | | | 4.0344 |
| Resistencia f' b | | | 76.9031 |

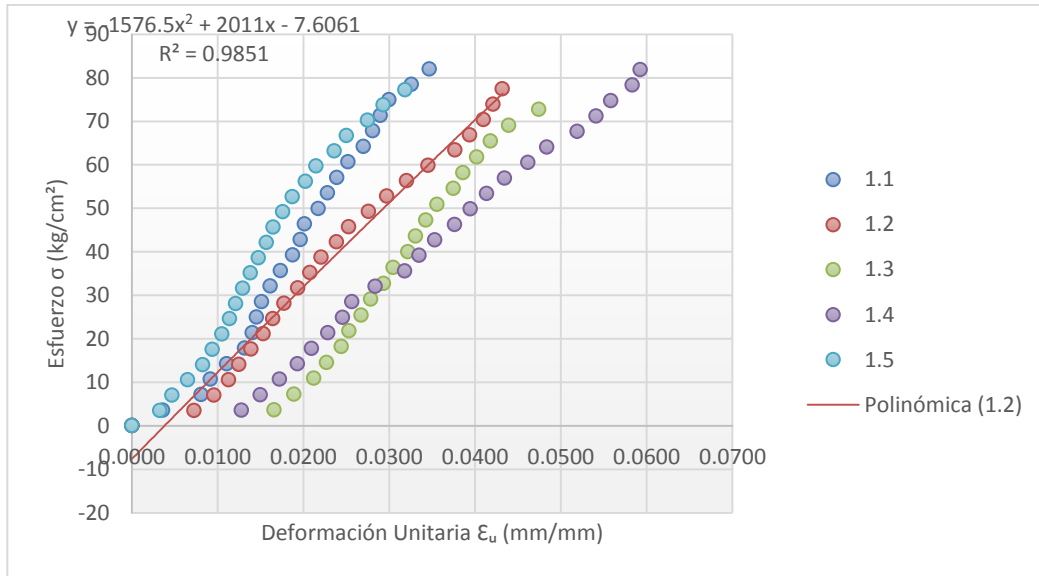


Figura 79. Esfuerzo vs Deformación unitaria (Unidades de concreto artesanal)

1.3. Resistencia a compresión

a. Mortero

A. Dosificación 1:4: sin cal

Tabla 25

Resistencia a compresión de mortero 1:4: sin cal

| Muestra | Área (cm ²) | Carga máxima (Kg) | Resistencia a compresión(Kg/cm ²) |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------|-----------------------------------------------|
| Mortero 7 | 26.3168 | 3637 | 138.2007 |
| Mortero 8 | 26.3168 | 3550 | 134.8948 |
| Mortero 9 | 26.2654 | 3475 | 132.3033 |
| Mortero 16 | 25.1979 | 3467 | 137.5908 |
| Mortero 17 | 25.0965 | 3393 | 135.1981 |
| Mortero 18 | 25.1988 | 3434 | 136.2763 |
| Resistencia promedio(fm) | | | 135.7440 |
| Desviación estándar (σ) | | | 2.1254 |
| Resistencia fm | | | 133.6186 |

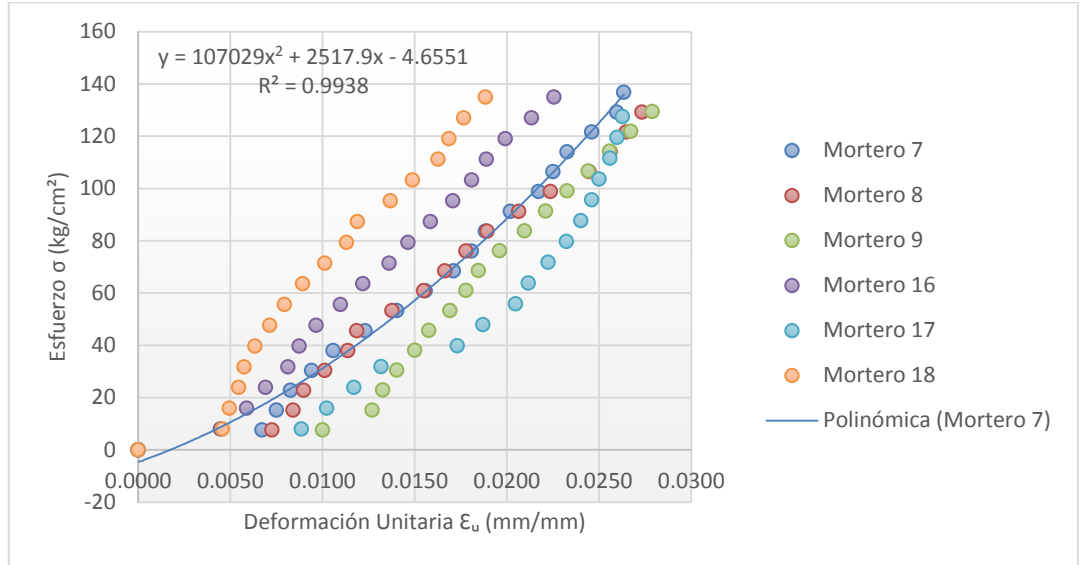


Figura 80. Esfuerzo vs Deformación unitaria (Mortero 1:4: sin cal)

B. Dosificación 1:4: ½

Tabla 26

Resistencia a compresión de mortero de 1:4:1/2

| Muestra | Área (cm ²) | Carga máxima (Kg) | Resistencia a compresión(Kg/cm ²) |
|---------------------------|-------------------------|-------------------|-----------------------------------------------|
| Mortero 1 | 26.1117 | 3794 | 145.2989 |
| Mortero 2 | 26.0354 | 3827 | 146.9925 |
| Mortero 3 | 25.8572 | 3844 | 148.6627 |
| Mortero 13 | 25.6530 | 3643 | 142.0107 |
| Mortero 14 | 25.1923 | 3515 | 139.5268 |
| Mortero 15 | 24.5024 | 3803 | 155.2093 |
| Resistencia promedio (fm) | | | 146.2834 |
| Desviación estándar (σ) | | | 5.4902 |
| Resistencia fm | | | 140.7932 |

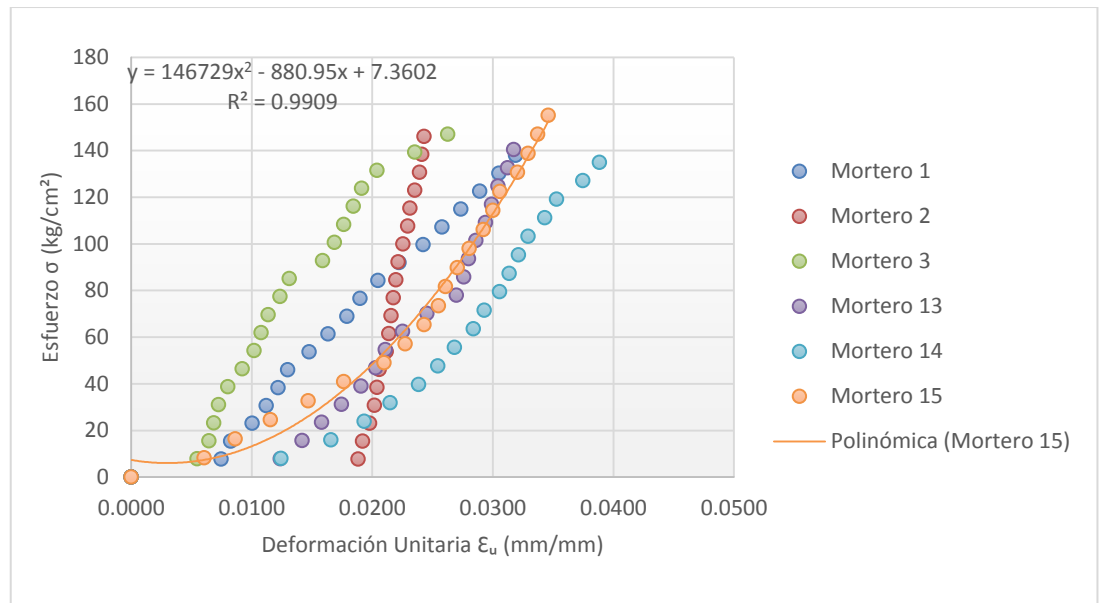


Figura 81. Esfuerzo vs Deformación unitaria (Mortero 1:4:1/2)

C. Dosificación 1:5: sin cal

Tabla 27

Resistencia a compresión de mortero 1:5: sin cal

| Muestra | Área (cm ²) | Carga máxima (Kg) | Resistencia a compresión(Kg/cm ²) |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------|-----------------------------------------------|
| Mortero 10 | 26.1117 | 3201 | 122.5887 |
| Mortero 11 | 26.1632 | 2989 | 114.2444 |
| Mortero 12 | 26.1120 | 3066 | 117.4173 |
| Mortero 22 | 24.9494 | 3004 | 120.4037 |
| Mortero 23 | 25.0470 | 3053 | 121.8908 |
| Mortero 24 | 25.9072 | 3149 | 121.5492 |
| Resistencia promedio(fm) | | | 119.6824 |
| Desviación estándar (σ) | | | 3.2259 |
| Resistencia fm | | | 116.4565 |

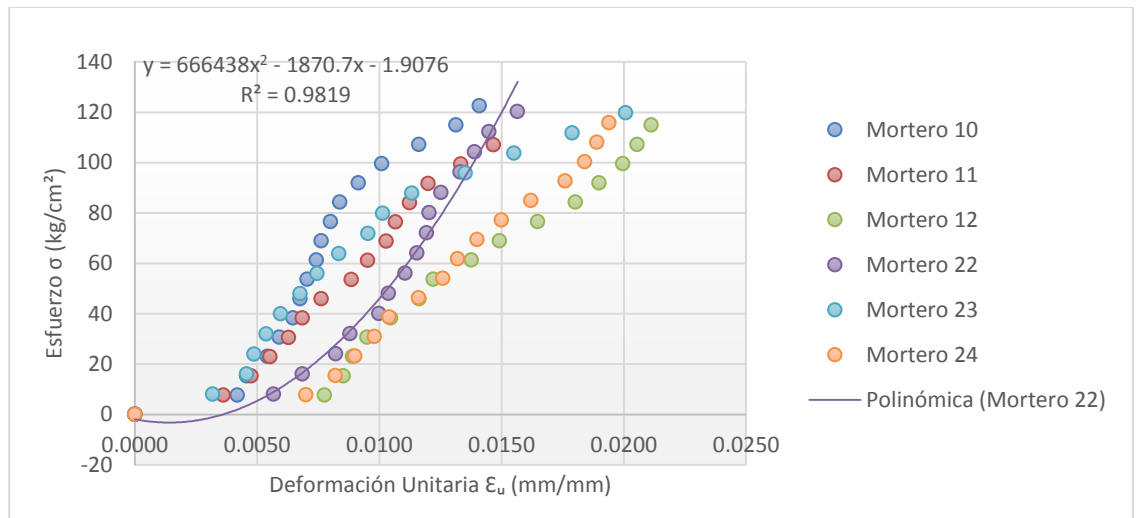


Figura 82. Esfuerzo vs Deformación unitaria (Mortero 1:5: sin cal)

D. Dosificación 1:5: ½

Tabla 28

Resistencia a compresión de mortero 1:5:1/2

| Muestra | Área (cm ²) | Carga máxima (Kg) | Resistencia a compresión(Kg/cm ²) |
|-------------------|----------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------|
| Mortero 4 | 26.6760 | 3451 | 129.3672 |
| Mortero 5 | 26.1626 | 3372 | 128.8863 |
| Mortero 6 | 26.1120 | 3154 | 120.7874 |
| Mortero 19 | 24.7835 | 3085 | 124.4780 |
| Mortero 20 | 24.9936 | 3257 | 130.3134 |
| Mortero 21 | 24.8490 | 3086 | 124.1901 |
| | Resistencia promedio(fm) | | 126.3371 |
| | Desviación estándar (σ) | | 3.7512 |
| | Resistencia fm | | 122.5859 |

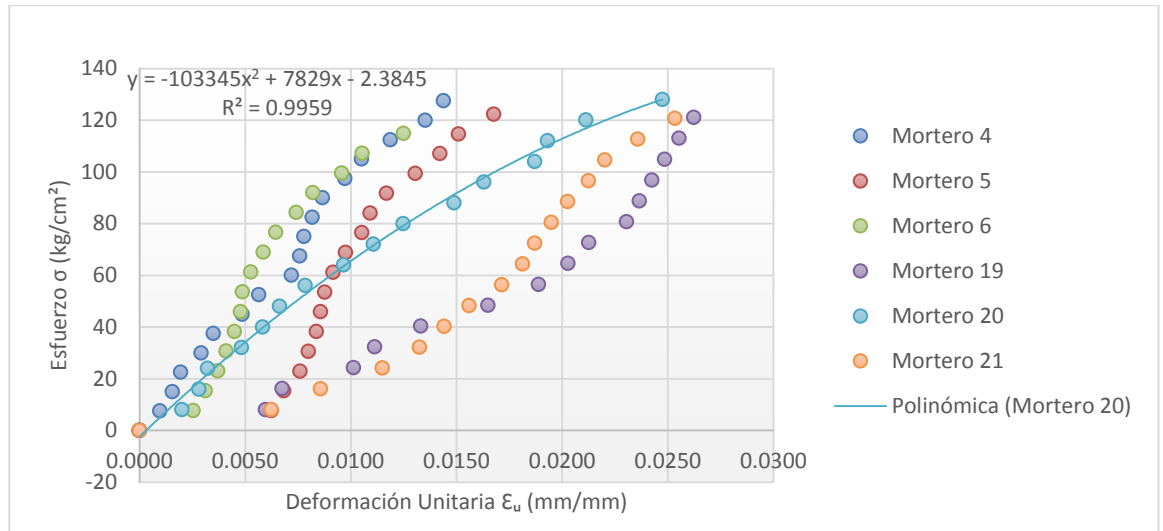


Figura 83. Esfuerzo vs Deformación unitaria (Mortero 1:5:1/2)

b. Pilas de ladrillos

A. Dosificación 1:4: sin cal

a. Ladrillos de arcilla industrial

Tabla 29

f'm de pilas de arcilla industrial de 1:4: sin cal

| Muestra | Área (cm ²) | Carga máxima (Kg) | Esbeltez (ht/tp) | Coef. de corrección | f'm (Kg/cm ²) |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------|------------------|---------------------|---------------------------|
| Pila 1 | 288.5921 | 20050 | 2.373 | 0.7822 | 54.3435 |
| Pila 2 | 283.4667 | 19429 | 2.431 | 0.7903 | 54.1677 |
| Pila 3 | 285.1285 | 17823 | 2.388 | 0.7843 | 49.0255 |
| Pila 4 | 284.0500 | 17603 | 2.394 | 0.7851 | 48.6538 |
| Pila 5 | 283.4832 | 16709 | 2.410 | 0.7874 | 46.4107 |
| Pila 6 | 290.4426 | 18074 | 2.378 | 0.7829 | 48.7192 |
| Resistencia promedio(f'm) | | | | | 50.2201 |
| Desviación estándar (σ) | | | | | 3.2628 |
| Resistencia f'm | | | | | 46.9573 |

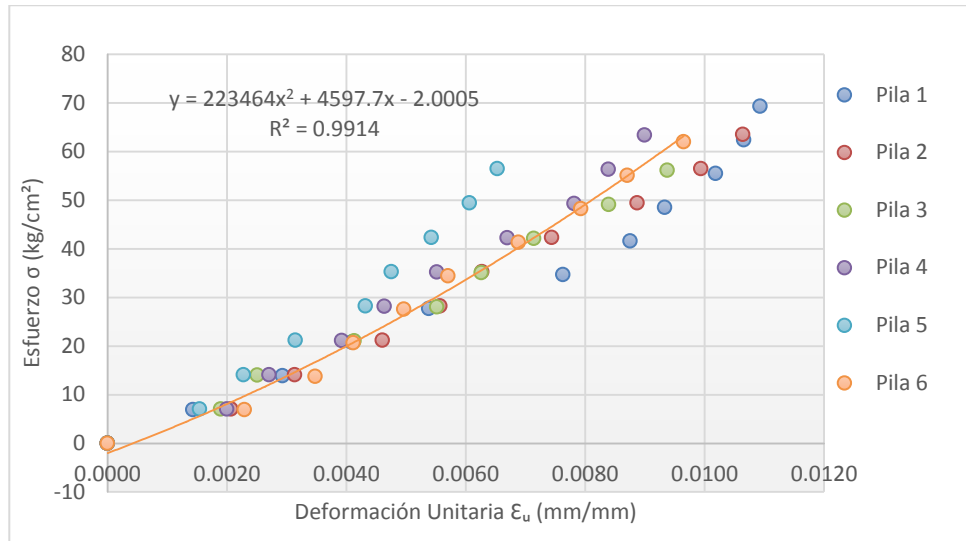


Figura 84. Esfuerzo vs Deformación unitaria (Arcilla industrial de 1:4:sin cal)

b. Ladrillos de arcilla artesanal

Tabla 30

f'm de pilas de arcilla artesanal de 1:4: sin cal

| Muestra | Área (cm ²) | Carga máxima (Kg) | Esbeltez (ht/tp) | Coef. de corrección | f'm (Kg/cm ²) |
|---------------------------|-------------------------|-------------------|------------------|---------------------|---------------------------|
| Pila 13 | 288.8033 | 9458 | 2.166 | 0.7532 | 24.6665 |
| Pila 14 | 299.7666 | 10184 | 2.146 | 0.7504 | 25.4934 |
| Pila 15 | 275.2538 | 7457 | 2.250 | 0.7650 | 20.7249 |
| Pila 16 | 281.6208 | 8566 | 2.156 | 0.7518 | 22.8673 |
| Pila 17 | 278.3000 | 9851 | 2.280 | 0.7692 | 27.2274 |
| Pila 18 | 286.6020 | 7692 | 2.116 | 0.7462 | 20.0270 |
| Resistencia promedio(f'm) | | | | | 23.5011 |
| Desviación estándar (σ) | | | | | 2.8068 |
| Resistencia f'm | | | | | 20.6943 |

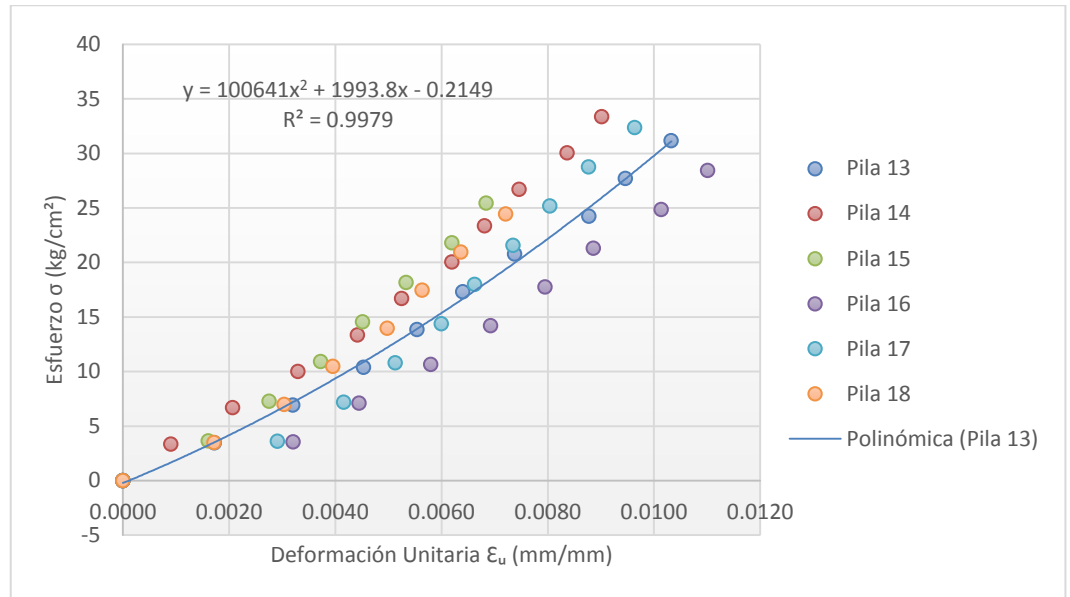


Figura 85. Esfuerzo vs Deformación unitaria (arcilla artesanal 1:4: sin cal)

c. Ladrillos de concreto artesanal

Tabla 31

f'm de pilas de concreto artesanal de 1:4: sin cal

| Muestra | Área (cm ²) | Carga máxima (Kg) | Esbeltez (ht/tp) | Coef. de corrección | f'm (Kg/cm ²) |
|---------------------------|-------------------------|-------------------|------------------|---------------------|---------------------------|
| Pila 7 | 283.5900 | 12463 | 2.599 | 0.8217 | 36.1115 |
| Pila 8 | 283.2468 | 12007 | 2.567 | 0.8147 | 34.5356 |
| Pila 9 | 284.3760 | 14582 | 2.600 | 0.8220 | 42.1498 |
| Pila 10 | 280.2144 | 13931 | 2.645 | 0.8319 | 41.3583 |
| Pila 11 | 289.4287 | 11978 | 2.570 | 0.8154 | 33.7453 |
| Pila 12 | 284.4036 | 14034 | 2.591 | 0.8200 | 40.4632 |
| Resistencia promedio(f'm) | | | | | 38.0606 |
| Desviación estándar (σ) | | | | | 3.6937 |
| Resistencia f'm | | | | | 34.3670 |

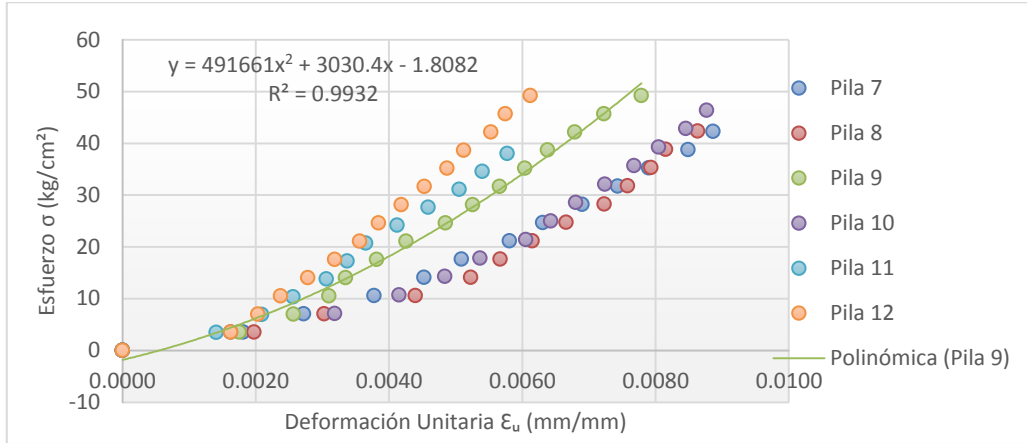


Figura 86. Esfuerzo vs Deformación unitaria (concreto artesanal de 1:4: sin cal)

B. Dosificación 1:4: ½

a. Ladrillos de arcilla industrial

Tabla 32

f'm de pilas de arcilla industrial de 1:4: 1/2

| Muestra | Área (cm ²) | Carga máxima (Kg) | Esbeltez (ht/tp) | Coef. de corrección | f'm (Kg/cm ²) |
|---------------------------|-------------------------|-------------------|------------------|---------------------|---------------------------|
| Pila 61 | 286.8844 | 21174 | 2.396 | 0.7854 | 57.9678 |
| Pila 62 | 284.0070 | 18931 | 2.398 | 0.7857 | 52.3723 |
| Pila 63 | 285.9944 | 18810 | 2.469 | 0.7956 | 52.3270 |
| Pila 64 | 288.5376 | 17955 | 2.411 | 0.7875 | 49.0042 |
| Pila 65 | 282.9204 | 20955 | 2.426 | 0.7896 | 58.4831 |
| Pila 66 | 287.9436 | 19903 | 2.402 | 0.7862 | 54.3431 |
| Resistencia promedio(f'm) | | | | | 54.0829 |
| Desviación estándar (σ) | | | | | 3.6421 |
| Resistencia f'm | | | | | 50.4408 |

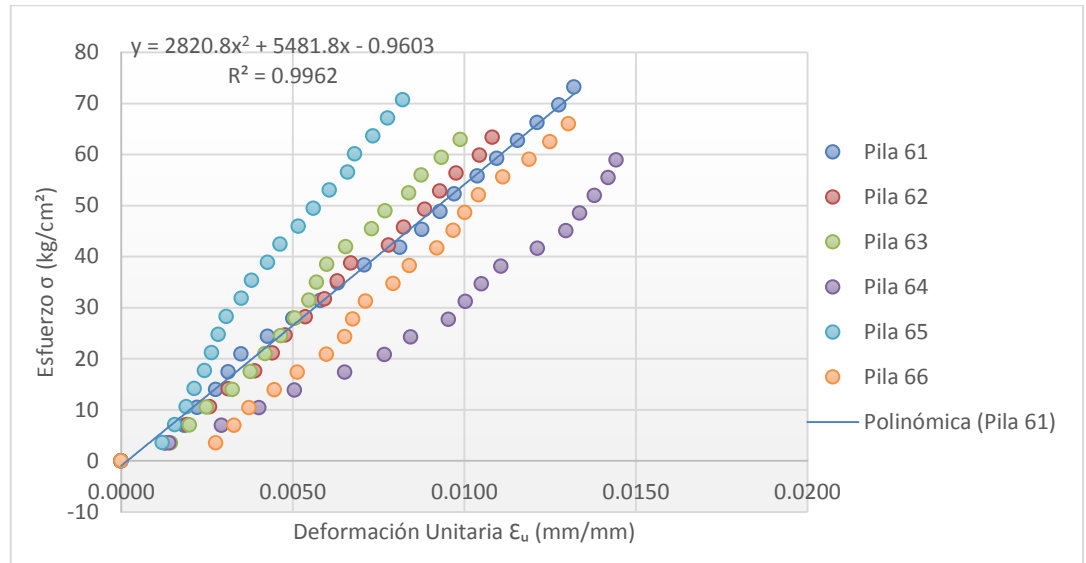


Figura 87. Esfuerzo vs Deformación unitaria (arcilla industrial de 1:4:½)

b. Ladrillos de arcilla artesanal

Tabla 33

f'm de pilas de arcilla artesanal de 1:4: 1/2

| Muestra | Área (cm ²) | Carga máxima (Kg) | Esbeltez (ht/tp) | Coef. de corrección | f'm (Kg/cm ²) |
|---------------------------|-------------------------|-------------------|------------------|---------------------|---------------------------|
| Pila 55 | 275.1160 | 10322 | 2.245 | 0.7643 | 28.6756 |
| Pila 56 | 293.4400 | 9322 | 2.165 | 0.7531 | 23.9245 |
| Pila 57 | 285.0705 | 9874 | 2.229 | 0.7620 | 26.3934 |
| Pila 58 | 287.2855 | 10136 | 2.219 | 0.7606 | 26.8355 |
| Pila 59 | 289.0204 | 8899 | 2.221 | 0.7609 | 23.4283 |
| Pila 60 | 280.0710 | 10270 | 2.303 | 0.7724 | 28.3233 |
| Resistencia promedio(f'm) | | | | | 26.2634 |
| Desviación estándar (σ) | | | | | 2.1870 |
| Resistencia f'm | | | | | 24.0764 |

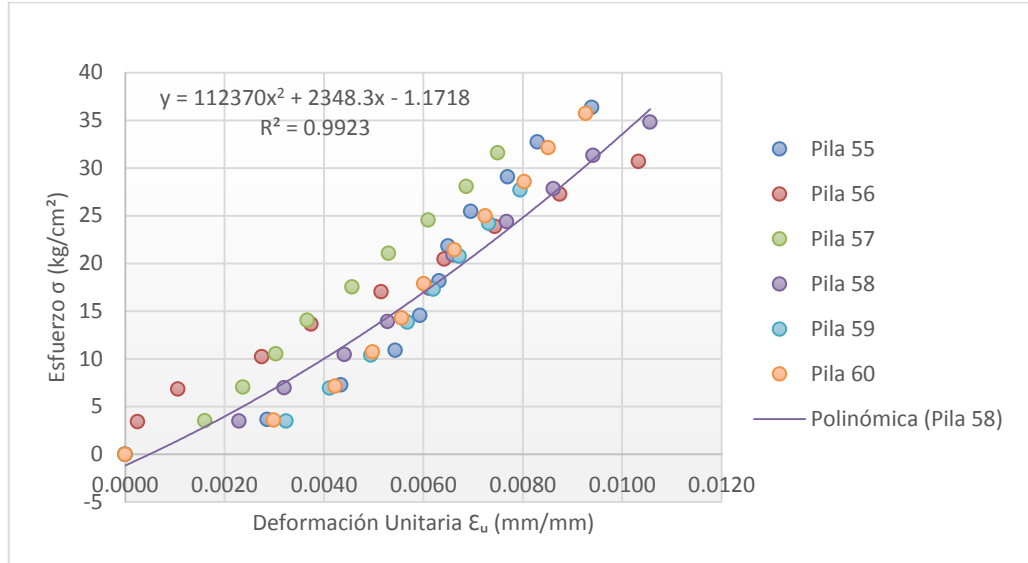


Figura 88. Esfuerzo vs Deformación unitaria (arcilla artesanal de 1:4: 1/2)

c. Ladrillos de concreto artesanal

Tabla 34

f'm de pilas de concreto artesanal de 1:4: 1/2

| Muestra | Área (cm ²) | Carga máxima (Kg) | Esbeltez (ht/tp) | Coef. de corrección | <i>f'm</i> (Kg/cm ²) |
|------------------------------------|-------------------------|-------------------|------------------|---------------------|----------------------------------|
| Pila 67 | 289.5084 | 13337 | 2.591 | 0.8200 | 37.7756 |
| Pila 68 | 285.9780 | 16065 | 2.518 | 0.8039 | 45.1596 |
| Pila 69 | 287.3520 | 15649 | 2.565 | 0.8143 | 44.3462 |
| Pila 70 | 291.4692 | 13342 | 2.514 | 0.8030 | 36.7573 |
| Pila 71 | 292.5158 | 14028 | 2.536 | 0.8079 | 38.7440 |
| Pila 72 | 288.7016 | 13563 | 2.597 | 0.8213 | 38.5841 |
| Resistencia promedio(<i>f'm</i>) | | | | | 40.2278 |
| Desviación estándar (σ) | | | | | 3.5846 |
| Resistencia <i>f'm</i> | | | | | 36.6432 |

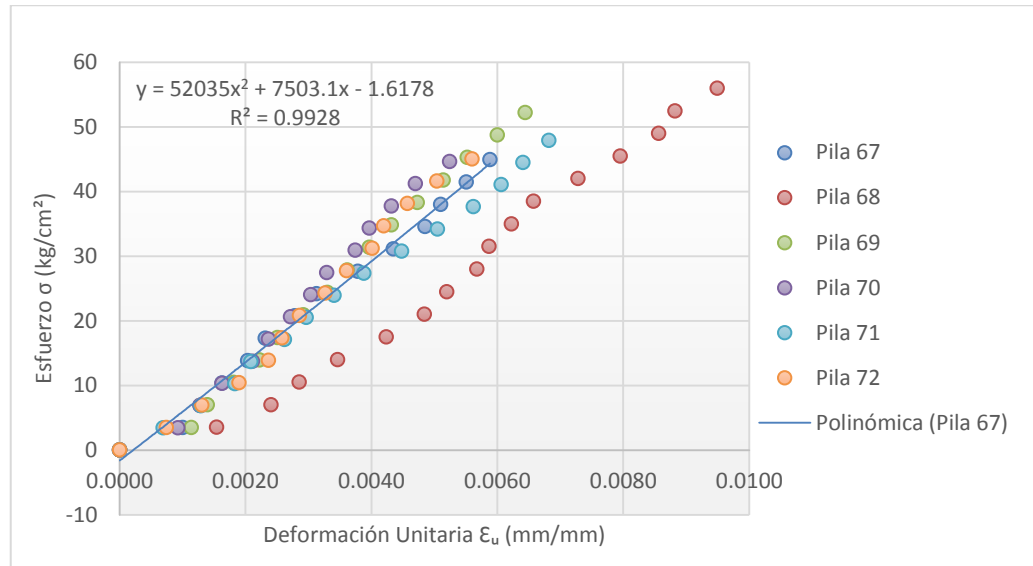


Figura 89. Esfuerzo vs Deformación unitaria (concreto artesanal de 1:4: 1/2)

C. Dosificación 1:5: sin cal

a. Ladrillos de arcilla industrial

Tabla 35

f'm de pilas de arcilla industrial de 1:5: 1/2

| Muestra | Área (cm ²) | Carga máxima (Kg) | Esbeltez (ht/tp) | Coef. de corrección | f'm (Kg/cm ²) |
|---------------------------|-------------------------|-------------------|------------------|---------------------|---------------------------|
| Pila 31 | 279.2427 | 15425 | 2.443 | 0.7920 | 43.7490 |
| Pila 32 | 285.2850 | 16919 | 2.432 | 0.7904 | 46.8752 |
| Pila 33 | 287.3640 | 17174 | 2.322 | 0.7750 | 46.3170 |
| Pila 34 | 288.6624 | 17986 | 2.349 | 0.7788 | 48.5255 |
| Pila 35 | 284.7222 | 14852 | 2.366 | 0.7812 | 40.7498 |
| Pila 36 | 286.8480 | 15823 | 2.414 | 0.7879 | 43.4618 |
| Resistencia promedio(f'm) | | | | | 44.9464 |
| Desviación estándar (σ) | | | | | 2.8163 |
| Resistencia f'm | | | | | 42.1301 |

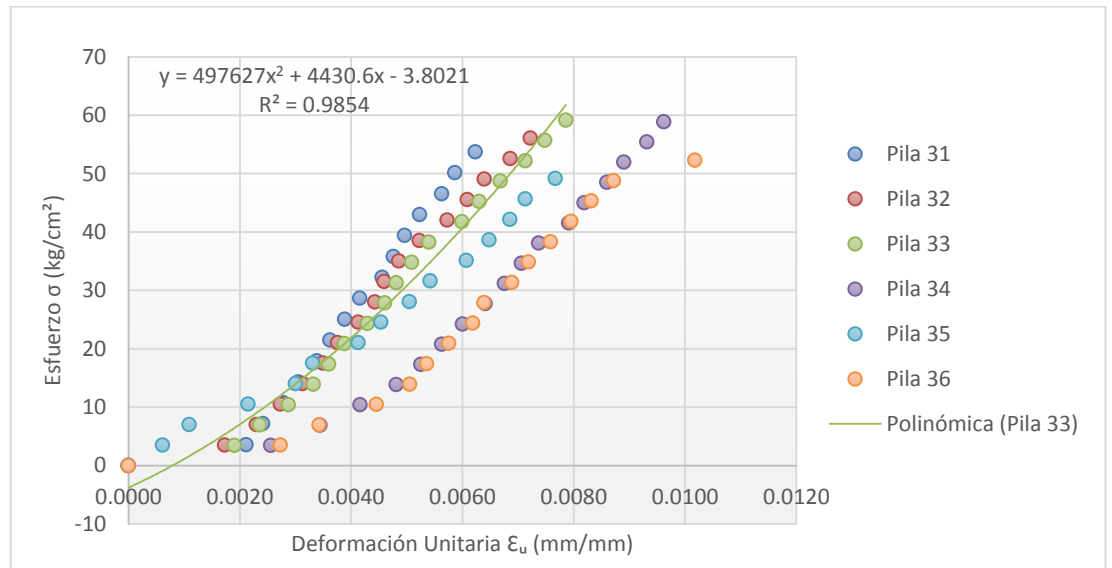


Figura 90. Esfuerzo vs Deformación unitaria (arcilla industrial de 1:5: 1/2)

b. Ladrillos de arcilla artesanal

Tabla 36

f'm de pilas de arcilla artesanal de 1:5: sin cal

| Muestra | Área (cm ²) | Carga máxima (Kg) | Esbeltez (ht/tp) | Coef. de corrección | f'm (Kg/cm ²) |
|---------------------------|-------------------------|-------------------|------------------|---------------------|---------------------------|
| Pila 19 | 282.2512 | 7104 | 2.260 | 0.7664 | 19.2896 |
| Pila 20 | 279.1854 | 6766 | 2.293 | 0.7710 | 18.6850 |
| Pila 21 | 282.7640 | 7499 | 2.274 | 0.7683 | 20.3756 |
| Pila 22 | 284.2420 | 7861 | 2.256 | 0.7658 | 21.1790 |
| Pila 23 | 274.9705 | 6996 | 2.326 | 0.7756 | 19.7334 |
| Pila 24 | 280.7672 | 7192 | 2.279 | 0.7690 | 19.6983 |
| Resistencia promedio(f'm) | | | | | 19.8268 |
| Desviación estándar (σ) | | | | | 0.8657 |
| Resistencia f'm | | | | | 18.9611 |

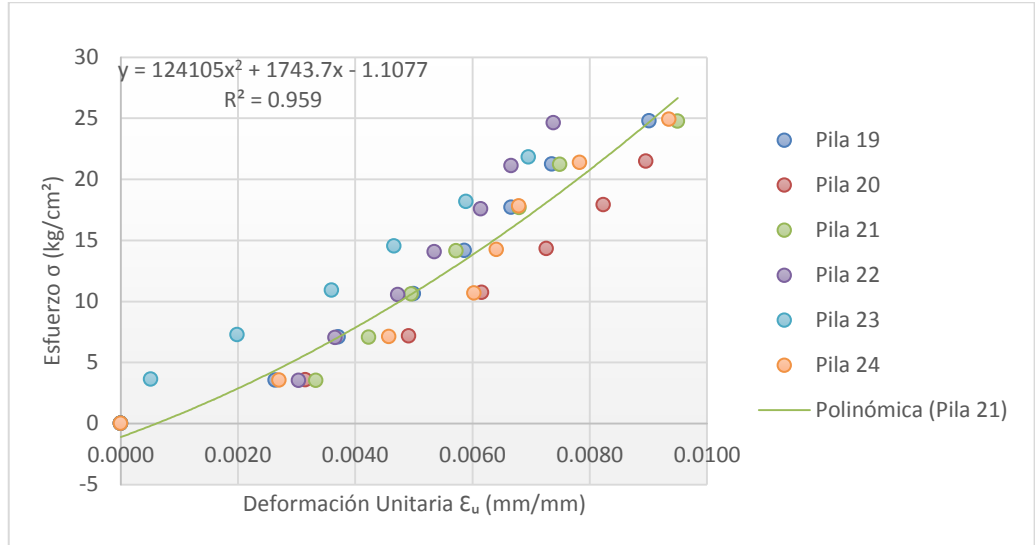


Figura 91. Esfuerzo vs Deformación unitaria (arcilla artesanal de 1:5: sin cal)

c. Ladrillos de concreto artesanal

Tabla 37

f'm de pilas de concreto artesanal de 1:5: sin cal

| Muestra | Área (cm ²) | Carga máxima (Kg) | Esbeltez (ht/tp) | Coef. de corrección | f'm (Kg/cm ²) |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------|------------------|---------------------|---------------------------|
| Pila 25 | 284.1448 | 10263 | 2.609 | 0.8239 | 29.7584 |
| Pila 26 | 282.3478 | 8499 | 2.643 | 0.8314 | 25.0261 |
| Pila 27 | 289.6190 | 8120 | 2.592 | 0.8202 | 22.9958 |
| Pila 28 | 281.7792 | 11828 | 2.621 | 0.8266 | 34.6975 |
| Pila 29 | 285.2460 | 9851 | 2.628 | 0.8281 | 28.5985 |
| Pila 30 | 285.9780 | 10062 | 2.603 | 0.8224 | 28.9358 |
| Resistencia promedio(f'm) | | | | | 28.3353 |
| Desviación estándar (σ) | | | | | 4.0594 |
| Resistencia f'm | | | | | 24.2760 |

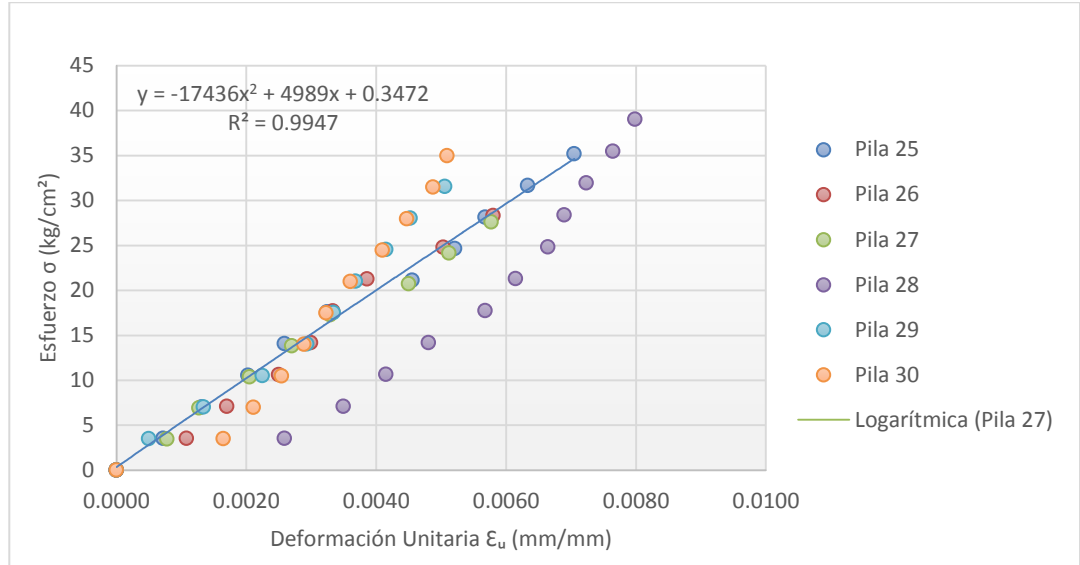


Figura 92. Esfuerzo vs Deformación unitaria (concreto artesanal de 1:5: sin cal)

D. Dosificación 1:5: ½

a. Ladrillos de arcilla industrial

Tabla 38

f'm de pilas de arcilla industrial de 1:5: 1/2

| Muestra | Área (cm ²) | Carga máxima (Kg) | Esbeltez (ht/tp) | Coef. de corrección | f'm (Kg/cm ²) |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------|------------------|---------------------|---------------------------|
| Pila 37 | 286.3872 | 18217 | 2.374 | 0.7823 | 49.7619 |
| Pila 38 | 284.8811 | 14998 | 2.461 | 0.7945 | 41.8277 |
| Pila 39 | 282.3172 | 17088 | 2.380 | 0.7832 | 47.4053 |
| Pila 40 | 284.6337 | 15266 | 2.394 | 0.7851 | 42.1079 |
| Pila 41 | 286.2256 | 17732 | 2.433 | 0.7906 | 48.9786 |
| Pila 42 | 286.6880 | 18095 | 2.423 | 0.7892 | 49.8122 |
| Resistencia promedio(f'm) | | | | | 46.6489 |
| Desviación estándar (σ) | | | | | 3.7299 |
| Resistencia f'm | | | | | 42.9190 |

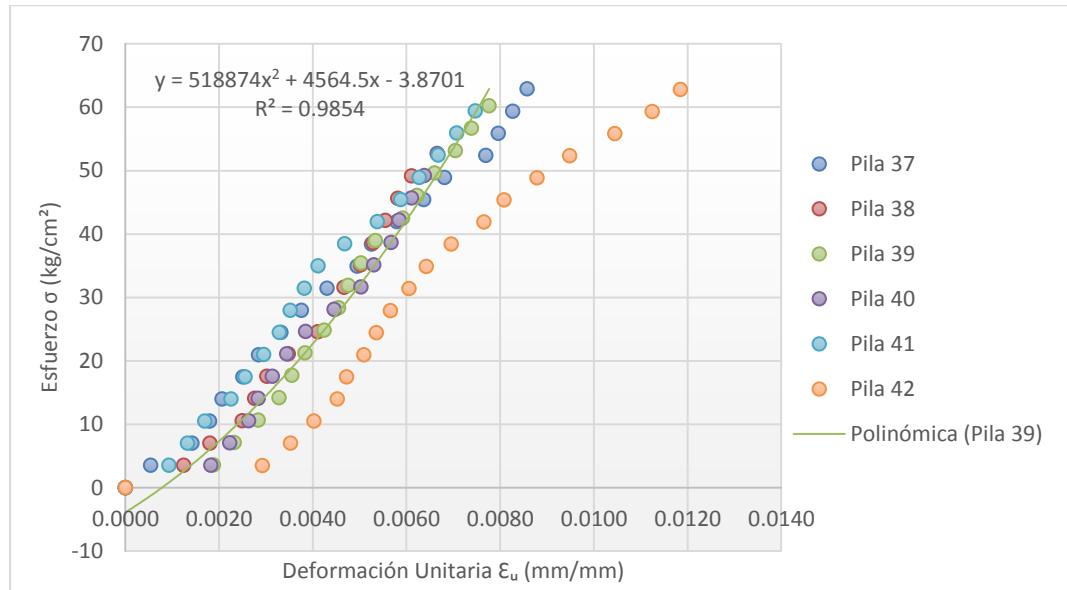


Figura 93. Esfuerzo vs Deformación unitaria (arcilla industrial de 1:5: 1/2)

b. Ladrillos de arcilla artesanal

Tabla 39

f'm de pilas de arcilla artesanal de 1:5: ½

| Muestra | Área (cm ²) | Carga máxima (Kg) | Esbeltez (ht/tp) | Coef. de corrección | f'm (Kg/cm ²) |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------|------------------|---------------------|---------------------------|
| Pila 49 | 279.7232 | 7894 | 2.306 | 0.7728 | 21.8090 |
| Pila 50 | 286.2636 | 8537 | 2.188 | 0.7563 | 22.5545 |
| Pila 51 | 277.7610 | 7751 | 2.240 | 0.7636 | 21.3085 |
| Pila 52 | 280.5426 | 8209 | 2.307 | 0.7729 | 22.6159 |
| Pila 53 | 279.5443 | 6992 | 2.311 | 0.7735 | 19.3469 |
| Pila 54 | 284.1020 | 7081 | 2.232 | 0.7624 | 19.0022 |
| Resistencia promedio(f'm) | | | | | 21.1062 |
| Desviación estándar (σ) | | | | | 1.5770 |
| Resistencia f'm | | | | | 19.5292 |

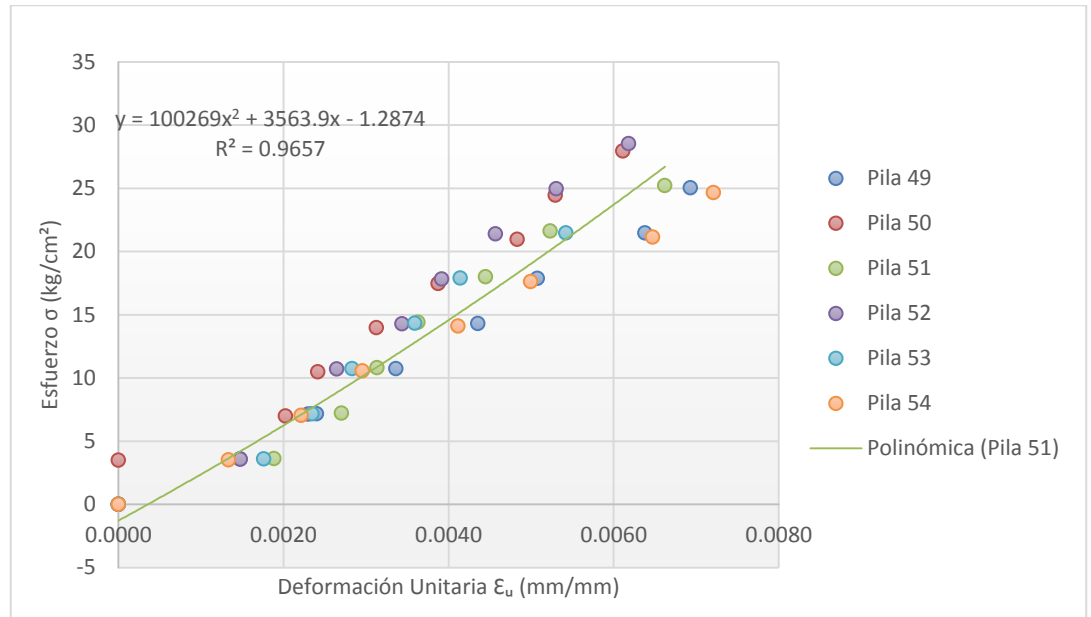


Figura 94. Esfuerzo vs Deformación unitaria (arcilla artesanal de 1:5: 1/2)

c. Ladrillos de concreto artesanal

Tabla 40

f'm de pilas de concreto artesanal de 1:5: 1/2

| Muestra | Área (cm ²) | Carga máxima (Kg) | Esbeltez (ht/tp) | Coef. de corrección | f'm (Kg/cm ²) |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------|------------------|---------------------|---------------------------|
| Pila 43 | 289.5360 | 10720 | 2.575 | 0.8165 | 30.2307 |
| Pila 44 | 292.3200 | 8826 | 2.551 | 0.8112 | 24.4925 |
| Pila 45 | 289.1218 | 12245 | 2.580 | 0.8176 | 34.6273 |
| Pila 46 | 286.6028 | 11942 | 2.619 | 0.8261 | 34.4215 |
| Pila 47 | 289.2864 | 9756 | 2.571 | 0.8156 | 27.5056 |
| Pila 48 | 289.5102 | 8833 | 2.584 | 0.8184 | 24.9695 |
| Resistencia promedio(f'm) | | | | | 29.3745 |
| Desviación estándar (σ) | | | | | 4.4839 |
| Resistencia f'm | | | | | 24.8906 |

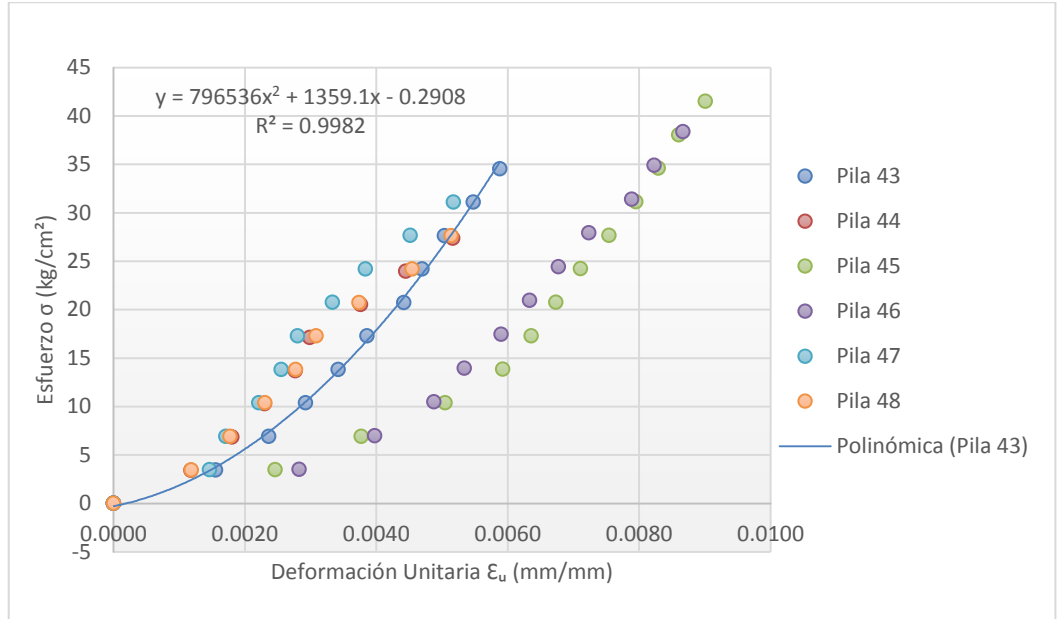


Figura 95. Esfuerzo vs Deformación unitaria (concreto artesanal de 1:5:1/2)

ANEXO n° 3. Protocolos de laboratorio

Compromiso en uso de laboratorios y equipos

Ensayos de arena gruesa

Ensayos de unidades de albañilería

Ensayo de resistencia a compresión de pilas de albañilería (f'm)

Ensayo de resistencia a compresión de cubos de mortero (Fm)

ANEXO n° 4. Ficha técnica de cemento Portland – Tipo I